ARCHITETTURA DIGITALE
TECNOLOGIE ED APPLICAZIONI INFORMATICHE PER L'ARCHITETTURA

EDIZIONE N°02

Queste note hanno unicamente fine didattico nell'ambito della:

Università degli studi di Firenze - Facoltà di Architettura

sono di supporto al corso di:
Restauro Architettonico - docente Prof. Paolo Brandinelli
Fotografia architettonica - docente Prof. Paolo Brandinelli

ed alla scuola di specializzazione:
in Storia, Analisi e Valutazione dei Beni Architettonici e Ambientali - docente Prof. Carlo Cresti
corso: Informatica applicata all'architettura - docente Arch. Manfredo Romeo

a cura di: arch. Manfredo Romeo
revisione: Giovanni Checcucci

con la collaborazione ed il supporto scientifico di:
General Engineering - Galileo Siscam Technology

fonti bibliografia e contributi sono citati nel testo.

Contributi degli studenti:
Gli studenti, con specifiche esperienze e conoscenze inerentemente agli argomenti trattati o a quelli di prossima trattazione, che volessero contribuire allo sviluppo delle presenti dispense, sono naturalmente graditi e saranno citati e ringraziati nel testo; essi potranno infine cogliere questa occasione per approfondire gli argomenti che sono già di loro conoscenza ed interesse.

Errori e Rettifiche:
eventuali errori di forma o di contenuto presenti nel testo potranno essere comunicati a Manfredo Romeo: email: manrome@tin.it

---

Come ottenere le dispense:
Queste dispense, ed i relativi aggiornamenti, saranno disponibili al seguente sito web per il download:
www.gen-eng.florence.it/ad
il file è informato pdf (portable document format) leggibile a schermo e stampabile con il lettore freeware Acrobat Reader il cui download è disponibile presso il seguente sito web:
www.adobe.com

Le dispense sono inoltre depositate nelle seguenti copisterie:
….

INDICE

1. FOTOGRAMMETRIA

La fotogrammetria viene qui trattata in quanto tecnologia che ha conosciuto, grazie al digitale, nuovi recenti sviluppi per l'architettura, ed in modo particolare nel settore recupero e preservazione dei beni culturali.
I testi e le illustrazioni proposte sono state in gran parte riprese da autori di fama nel settore; si rimanda alla lettura di questi ultimi per approfondimenti: vedi bibliografia allegata. Si presuppongono conoscenze base di geometria descrittiva, ottica, fotografia ed informatica.

È importante sottolineare, come premessa a queste note, che la fotogrammetria verrà qui brevemente presentata nelle sue applicazioni generali, sia pur con maggiore attenzione alle finalità architettoniche. Solo nel capitolo seguente verranno illustrate applicazioni specifiche mirate alla produzione di fotopiani, che però, è bene sottolineare, rientrano in quella che viene detta "fotogrammetria non convenzionale".

1.1 INTRODUZIONE

Con il termine fotogrammetria si intendono tutte quelle procedure che utilizzano immagini fotografiche di un oggetto per ricavarne le dimensioni. Effettuare il rilievo di un oggetto significa ricavare la posizione spaziale di tutti i punti di interesse. Mediante la fotogrammetria questa operazione viene fatta, in gran parte, non direttamente sull'oggetto ma operando su immagini fotografiche.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo le cui origini sono antiche almeno quanto l'invenzione della fotografia e la cui teoria è stata sviluppata perfino prima della stessa invenzione della fotografia, come pura geometria proiettiva. La fotogrammetria, sebbene nasca per il rilievo delle architetture, si sviluppa principalmente per il rilevamento del territorio, ed è stata, fino alla fine del secolo scorso, applicata in gran parte come "fotogrammetria aerea".

Indubbiamente uno degli aspetti che ha maggiormente ostacolato la diffusione della fotogrammetria in molti settori è rappresentato dall'elevato costo e complessità degli apparecchi usati per svolgere le operazioni fotogrammetriche. La recentissima, (ultimi dieci anni), disponibilità e diffusione di calcolatori in grado di manipolare grosse quantità di dati, unitamente ai progressi tecnologici nella computer grafica ha permesso di eseguire molte elaborazioni del processo di rilievo fotogrammetrico in ambiente digitale. Questo ha fatto sì che, le costose e complesse strumentazioni ottico-meccaniche utilizzate nel passato, in parte si rendessero non più indispensabili ed in parte divenissero perfino obsolete.
Proprio grazie a questa evoluzione della tecnologia verso il digitale, si è avuto, nell'ambito della fotogrammetria, una rapida diffusione ed uno sviluppo che ha portato ad applicare più frequentemente e più estesamente questa metodologia di rilievo ad altri settori dove raramente veniva utilizzata.
La fotogrammetria rimane comunque una disciplina specialistica che richiede competenze vaste e grande esperienza per poter essere applicata con risultati attendibili.
"La fotogrammetria rappresenta ormai uno strumento di acquisizione di dati

metrici e tematici tra i più affidabili e più immediati, e va estendendo sempre più la sua diffusione e le sue applicazioni. Essa costituisce infatti una procedura di rilevamento, prospezione e documentazione - di rara efficacia - delle realtà territoriali, ambientali, urbane e architettoniche. Tali peculiari caratteristiche, non invasive e non distruttive, la qualificano meglio di ogni altra metodologia di rilevamento e prospezione nella individuazione e misura delle più minute modificazioni morfologiche degli oggetti considerati, e nella lettura dei vari aspetti specifici della loro definizione spaziale, talvolta non evidenti alla normale osservazione visuale.
Inoltre le nuove modalità fotogrammetriche nella rappresentazione e nella documentazione degli oggetti considerati consentono descrizioni grafiche e numeriche più pertinenti e assicurano la possibilità di istituire periodici e sistematici controlli dei loro stati di consistenza ai fini della salvaguardia e conservazione. Queste caratteristiche della metodologia fotogrammetrica la rendono particolarmente utile nel settore dei beni culturali." - M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

Tuttavia la fotogrammetria non deve essere considerata, soprattutto nell'ambito dei rilievi architettonici, più di quello che essa sia in realtà: la fotogrammetria è, e rimane, un mezzo per giungere a delle informazioni metriche che costituiscono semplicemente il primo passo verso la conoscenza e la documentazione dell'architettura; essa permetterà semplicemente di sviluppare in maniera più dettagliata le successive operazioni di analisi, progetto ed intervento.

Ed è bene anche sottolineare che: "la tecnica fotogrammetrica non deve né può sostituirsi interamente ai rilievi diretti, ma può offrire solo un supporto geometricamente obbiettivo, imprescindibile ai fini dell'esecuzione del rilievo finale." - AAVV - Lavori di fotogrammetria architettonica - Ed. Dei Roma

1.2 CENNI STORICI

La storia della fotogrammetria è molto legata, nei suoi princìpi teorici, alla storia della geometria descrittiva ed in particolare alla formulazione della teoria della prospettiva; mentre nella sua applicazione è legata alla storia dell'ottica, della fotografia ed alle relative scoperte tecnologiche.
Si ricorda inoltre che la fotografia, da un punto di vista ottico-proiettivo, è assimilabile ad una proiezione centrale: ovvero tutti i raggi provenienti dal mondo esterno vengono convogliati attraverso le lenti dell'obbiettivo in un punto, (o assimilabile a tale), e proiettati su uno schermo che li intercetta, (pellicola): pertanto si può affermare che la fotografia è, con buona approssimazione, una vista prospettica della realtà.
La fotogrammetria, per poter essere correttamente applicata, ha dovuto pertanto attendere che si sviluppassero le conoscenze necessarie nell'ambito della geometria descrittiva e nell'ambito della fotografia, legando infine le due discipline: nota la prospettiva ed i procedimenti geometrici "inversi", per ricavare da essa le proiezioni ortogonali dell'oggetto reale, è stato possibile ricavare informazioni metriche dalle rappresentazioni fotografiche, prima in modalità geometrica proiettiva, poi in modalità analitica ed infine digitale.

CICLI FONDAMENTALI

- nel 1750 fondamenti teorici
- metrografia: 1850-1900
- stereofotogrammetria terrestre 1900-1920
- fotogrammetria aerea inizio 1920-1940

- fotogrammetria aerea sviluppo 1940-1960
- fotogrammetria analitica 1960-1988
- fotogrammetria da satellite dal 1986
- fotogrammetria digitale dal 1988

PRECURSORI

- All'inizio del secolo XI circa l'arabo Alhazen di Basra, astronomo e filosofo islamico, inventa la camera oscura. Egli per primo svolge una trattazione scientifica delle lenti e della luce.
- Intorno al 1300 a Pisa vengono inventati gli occhiali da vista.

DALLA REALTÀ ALLA RAPPRESENTAZIONE PROSPETTICA

- Nel rinascimento vengono scoperte ed applicate dagli artisti le leggi della prospettiva geometrica (Masaccio, Paolo Uccello, Piero della Francesca, ecc.). A due artisti, in particolare, viene attribuito il merito della scoperta della prospettiva: l'Alberti e il Brunelleschi. Le leggi della prospettiva sono descritte dall'Alberti in "De Pictura" (1430). Egli chiama "razzo centrico" l'asse ottico della prospettiva ed espone un metodo di costruzione della prospettiva nei quadri.
- Il Brunelleschi costruisce due tavolette con un foro al centro corrispondente al punto di vista; l'osservatore mira, attraverso il foro, uno specchio che, posto di fronte alla tavoletta, ne riflette quanto in esse disegnato, sperimentando le leggi della prospettiva e dimostrando l'esistenza di un punto di fuga.
- Artisti rinascimentali (Albert, Vermeer), applicano la camera oscura per il disegno di prospettive.
- Leonardo da Vinci spiega il funzionamento della camera oscura nel Codice Analitico. Costruisce apparati per la prospettiva, esperimenta artifici prospettici quali l'anamorfosi.
- Il pittore tedesco A.Durer, venuto in Italia a studiarne l'arte rinascimentale, fabbrica dispositivi per la visione prospettica, il reticolo e il portello, evoluzioni di un congegno (il velum), costruito dall'Alberti e perfezionato da Leonardo. Egli pubblica il "trattato sulle misure" (1525).
- Leonardo descrive l'anamorfosi, cioè una rappresentazione deliberatamente deformata, se osservata dal normale punto di vista frontale, ma che assume un aspetto comprensibile solamente se osservata da un punto di vista particolare; tuttavia solamente nel 600 entrò in uso tale termine.
- Nel 1544 L'olandese Rainer Gemma Frisius disegna la camera oscura portatile.
- Il napoletano Giovanni Battista della Porta applica la lente al foro della camera oscura.
- Nel 1600 il pittore J.Chimenti effettua disegni stereoscopici.
- Nel 1685 l'olandese Johan Zahn raddrizza l'immagine della camera oscura con lo specchio a 45°.
- Nel seicento gli artisti padroneggiano la tecnica della prospettiva al punto di creare le cosiddette architetture effimere e dipinte, (Tiepolo a Wurzburg, ecc.), e di divertirsi a creare false prospettive a trompe-l'oeil (a Roma Borromini nel Palazzo Spada, Andrea Pozzo nella chiesa di S.Ignazio, Baldassarre Peruzzi nella Villa Farnesina, ecc.). L'abate, architetto pittore A.Pozzo scrive un documentato e ricco trattato sulla prospettiva. Viene inventata la scenografia come arte autonoma.
- Nel secolo successivo il pittore Canaletto applica intensivamente la camera chiara per disegnare le sue prospettive.
- Non è un caso che a partire dalla seconda metà dell'800, il successo della fotografia abbia scalzato la pittura dal suo ruolo di rappresentazione della realtà e che quindi la pittura abbia cercato nuove strade.

DALLA RAPPRESENTAZIONE PROSPETTICA ALLA MISURE REALI DELL'OGGETTO

- Il matematico francese Desargues (1593-1662) formula la teoria della prospettiva.
- Nel 1727 il medico tedesco J.H.Schulze scopre la sensibilità del nitrato d'argento alla luce ottenendo una immagine sia pure di breve durata.
- Nel 1759 il geografo Henry Lambert (1728-1787) pubblica la teoria della prospettiva "Frei Perspective": sono i princìpi della prospettiva inversa e dell'intersezione spaziale di raggi coniugati sui quali si basa la fotogrammetria.
- Nel 1726 il medico naturalista M.A.Kappeler effettua il rilievo del monte Pilatus servendosi di prospettive disegnate.
- Nel 1791 l'idrografo francese Beatemps-Beaupré effettua similmente il rilievo di un tratto di costa del pacifico.
- Nel 1804 l'inglese W.H.Wollaston brevetta la camera lucida, dispositivo con il quale è possibile sovrapporre l'immagine del paesaggio con quella del foglio di carta.
- Nel 1827 Il francese Nicephore Niepce effettua la prima fotografia in località Le Gras vicino a Chalon sur Saone: "Veduta della finestra di casa". L'esposizione dura otto ore.
- Nel 1839 il francese Louis Mandé Daguerre forma e sviluppa la prima immagine "latente": i dagherrotipi sono a base di sali di argento.
- Nel 1839 l'accademico francese Arago presenta la fotografia all'Accademia delle Scienze francese prospettandone la piena potenzialità metrica.
- Nel 1840 F. Voigtlander costruisce un obiettivo con luminosità 3.5 progettato dal matematico ungherese J.Petval.
- Nel 1840 l'inglese William H.Fox-Talbot inventa il procedimento negativo-positivo per la riproduzione della fotografia.
- L'inglese D.Brewster inventa il visore stereoscopico
- Nel 1841 A.Claudet applica la tecnica delle fotografie stereoscopiche
- Nel 1849 A.Laussedat rileva la cupola di Les Invadides mediante prospettive disegnate con la camera chiara.
- Nel 1851 F.Scott Archer inventa il procedimento al collodio umido per le fotografie che rimarrà utilizzato per quarant'anni. La lastra di vetro veniva preparata con sali lasciati a seccare. Questa andava inumidita immediatamente prima dell'esposizione; quindi veniva sviluppata subito dopo l'esposizione stessa.
- Nel 1850 il capitano del genio francese Aimé Laussedat si pone come il fondatore della fotogrammetria che chiama iconometria o metrografia.
- Nel 1858 il fotografo francese F.Tournachon, soprannominato Nadar, effettua le prime riprese aeree a bordo di una rnongolfiera e si fa ardente propagandista della produzione di carte mediante riprese aeree.
- Nel 1859 Laussedat fabbrica il primo fototeodolite, munito di cerchi orizzontale e verticale e di fotocamera con 4 marche fiduciarie.
- Fra i rilievi di Laussedat si annoverano quelli di S. Maria delle Grazie a Milano e del forte di Vincennes. Laussedat preferiva la camera chiara di Walloston per il suo maggiore abbracciamento e perché il procedimento fotografico era ancora molto macchinoso e dai risultati incerti.
- Nel 1858 l'architetto tedesco A.Maydenbauer effettua il primo rilievo fotogrammetrico architettonico: il duomo di Wetzlar. Egli fabbrica apparecchi fotografici, caratterizzati dall'enorme formato del negativo, con cui rileva una gran quantità di edifici monumentali costituendo il primo archivio fotogrammetrico architettonico (Berlino 1883).
- Ignazio Porro in Italia nel 1865 costruisce il primo fotogoniometro risolvendo brillantemente il problema della distorsione degli obbiettivi fotografici. Egli propone per la nuova tecnica di rilievo il nome di fotopografia.

- Durante la guerra civile in America furono usate fotografie da palloni aerei.
- Nel 1871 viene inventata la lastra a gelatina di ioduro di argento, che, perfezionata nel 1890 soppianterà il procedimento al collodio umido.
- Nel 1876 il tedesco W.Jordan dà il nome di fotogrammetria alla nuova tecnica.
- Il professore tedesco G.Hauck getta le basi teoriche della fotogrammetria analitica.
- Nel 1888 l'americano G.Eastman inventa il rullino fotografico e lo usa nella macchina fotografica portatile Kodak.
- Nel 1892-96 Viene eseguito il rilievo del monte Bianco da parte di H.J.Vallot.
- Paganini, costruttore di un fototeodolite, e Manzi in Italia effettuano rilievi fotogrammetrici per conto dell'IGMI, elevando la fotogrammetria a un livello operativo eccellente.
- Nel 1896 la Zeiss, fabbrica tedesca di strumenti topografici, con sede a Jena, mette in commercio il primo obbiettivo fotografico esente da errori di astigmatismo, il famoso Protar Anastigmatic e dopo pochi anni l'obbiettivo Tessar, progettati dal prof. Abbe e i cui vetri ottici sono costruiti dalla fabbrica di vetri Schott. Zeiss, Schott e Abbe fondano la Zeiss.
- Nel 1896 D.Koppe in Germania reinventa il fotogoniometro; la correzione della distorsione degli obbiettivi attraverso il percorso inverso dei raggi ottici è noto come principio di Porro-Koppe. Koppe nel 1889 scrive il primo testo di Fotogrammetria.
- Nel 1892 Stolze inventa la marca mobile stereoscopica. Viene così risolto il grave problema della identificazione dei punti corrispondenti.
- Nel 1896 il franco-canadese Deville inventa un apparecchio stereoscopico di restituzione noto come camera Deville.
- Il tedesco Karl Pulfric nel 1901, presso le officine K.Zeiss di Jena, costruisce il primo stereocomparatore: è l'inizio della fotogrammetria analitica.
- Nel 1908 L'austriaco E.Von Orel, ufficiale dell'esercito austro-ungarico, e triestino di nascita, inventa lo Stereoautografo che è il primo restituore analogico caratterizzato dalla restituzione diretta, senza necessità di calcoli di restituzione (di qui l'automatismo).
- L'ingegnere austriaco tedesco Teodoro Scheimpflug, padre della fotogrammetria aerea, mette a punto: la tecnica di ripresa aerea, la tecnica per l'orientamento dei modelli, la tecnica del concatenamento per la formazione della strisciata e la tecnica del raddrizzamento.
- Nel 1910 viene fondata a Vienna la Società internazionale di Fotogrammetria ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing).
- Nel 1923 W.Bauersfeld estende alla fotogrammetria aerea il metodo applicato allo stereoautografo.
- Stereorestitutori Wild, Zeiss, Santoni, Nistri, Poivilliers, Thompson.
- Il geometra pisano E.Santoni inventa e perfeziona gli stereorestitutori a proiezione ottico-meccanica.
- Nel 1932 fabbricazione della macchina fotografica Leica, modello C, (primo apparecchio fotografico 35 mm con obbiettivi intercambiabili, messa a fuoco a telemetro, 36 esposizioni e flash).
- Nel 1953 nascita delle OEEPE, (Organisation Eurpéenne d'Etudes Photogrammetriques), che diventa poi una Commissione permanente della CEE.
- Viene fondato a Parigi il CIPA (Comité International de Photogrammétrie Architecturale).
- Nel 1955 l'americano R.K.Bean inizia la produzione di ortofoto.

- Nel 1958 il fillandese-canadese U.V. Helava inventa il restitutore analitico costruito poi dalla OMI, (Ottico Meccanica Italiana), fabbrica italiana fondata da Nistri e Parenti.
- Nel 1964 W.Schermerhon, primo ministro olandese e professore di fotogrammetria all'Università di Delft, fonda l'ITC, (International Training Centre), poi diventato International for Aerospce Survey and Earth Sciencies con sede a Enschede, (Olanda).
- Nel 1972 viene lanciato dagli USA il primo satellite della serie ERST, (Earth Resources Technology Satellite), meglio noto come LANDSAT. I suoi rilievi di qualunque parte del globo sono disponibili a chiunque.
- Nel 1980 scaduto il brevetto Helava, ciascuna casa costruttrice produce la propria famiglia di restitutori analitici: la Zeiss costruisce i Planicomp, la Wild lo AC1 Aviolyt, e la Kern il K1A.
- Nel 1981 T.Siriakoski getta le basi della fotogrammetria digitale.
- La Francia effettua il lancio del primo dei tre satelliti SPOT, (Sistème Probatorie pour l'Observation de la Terre), analogo al Landsat, con in più la capacità di prese stereo e finalità cartografiche, caratterizzato da una risoluzione a terra di 30 m
- Nel 1988 Kern costruisce il primo stereorestitutore digitale.

Note storiche tratte da: Gabriele Fangi - Univ. di Ancona - note di fotogrammetria - clua ed. Ancona - nonché dal libro della ISPRS: Historical Developments of Photogrammetric Methods and Instruments - T.Blanchut

1.3 DEFINIZIONE GENERALE

"Dopo varie definizioni, tentate fino dagli esordi, è stato introdotto, a partire dal 1903, da Albrecht Meydenhauer il termine fotogrammetria per individuare l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica.
Per le specifiche applicazioni che ne vengono fatte, la metodologia prende il nome di fotogrammetria terrestre, allorché le prese vengono effettuate alla superficie del suolo, e il nome di fotogrammetria aerea, quando esse vengono effettuate da piattaforma spaziale aerea.
Nella prassi consolidata tale metodologia viene tuttavia identificata come fotogrammetria dei vicini, o Close-Range Photogrammetry, quando gli oggetti interessati risultano situati ad una distanza inferiore a 300 m circa, dalla camera da presa fotogrammetrica; e come fotogrammetria dei lontani, quando gli oggetti sono situati a distanze maggiori. Il limite dei 300 m costituisce anche la delimitazione della quota di sicurezza per le riprese da aeromobile.
Nell'uso comune, dati soprattutto i suoi interessi prevalentemente territoriali, la metodologia viene infine suddivisa in fotogrammetria topografica e in fotogrammetria non topografica. Nell'ambito della prima rientrano i rilevamenti urbani; nell'ambito della seconda gravitano invece i rilevamenti architettonici e degli oggetti mobili." - M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

1.4 ELEMENTI DI BASE

Al fine di poter comprendere il metodo fotogrammetrico è necessario premettere alcune nozioni di base che riguardano la fotografia e la stereoscopia.
Note tratte da "Appunti di Fotogrammetria" – Galileo Siscam – Corso aziendale –di Ezio Viti.

1.4.1 LA FOTOGRAFIA COME PROIEZIONE CENTRALE

Dal punto di vista geometrico la fotografia di un certo oggetto può assimilarsi con sufficiente approssimazione ad una proiezione centrale dell'oggetto fotografato.
Ricordiamo che una proiezione centrale è ottenuta proiettando i punti dell'oggetto su un piano, (detto piano o quadro di proiezione), da un punto esterno ad esso, (detto centro di proiezione o di vista). Le rette congiungenti i punti dell'oggetto con il centro di proiezione sono dette rette proiettanti.
I loro punti di intersezione con il piano di proiezione costituiscono le proiezioni od "immagini" dei punti dell'oggetto.
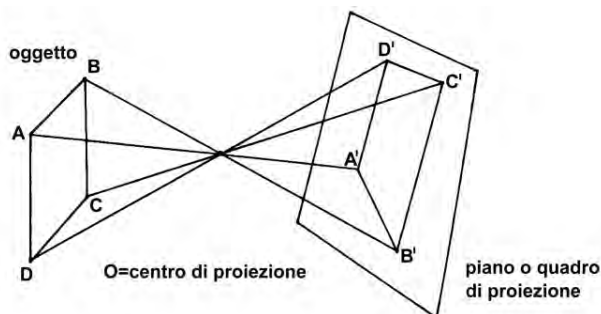
fig.01 – proiezione centrale

Nel caso della fotografia, il piano di proiezione è assimilabile al piano della emulsione fotografica, il centro di proiezione ad un punto dell'obbiettivo della camera fotografica, le rette proiettanti ai raggi luminosi che hanno formato l'immagine fotografica in questione.
Se l'obbiettivo della camera fotografica fosse costituito da una lente infinitamente sottile, il centro di proiezione coinciderebbe con il centro di tale obbiettivo.
In un sistema ottico complesso, qual è nella realtà un obbiettivo fotografico, non esiste un unico centro. In esso possono invece individuarsi due punti, posti ad una certa distanza l'uno dall'altro, lungo l'asse ottico del sistema.
Tali punti sono detti punti nodali.
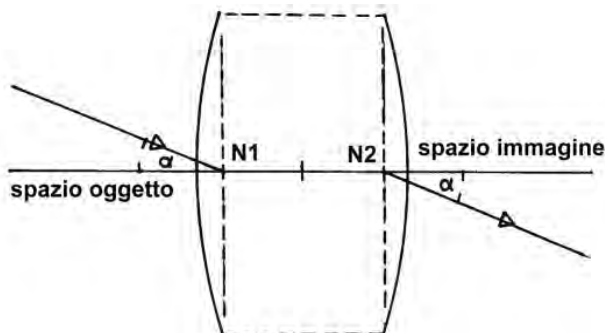
fig.02 – punti nodali di un obbiettivo

I raggi luminosi provenienti dallo spazio esterno, (spazio oggetto), alla camera fotografica, passano dal primo di tali punti nodali, (punto nodale esterno), ed emergono nello spazio interno alla camera fotografica, (spazio immagine), passando dal secondo punto nodale, (o punto nodale interno), in direzione parallela a quella che essi avevano nello spazio oggetto, raggiungendo quindi il piano della emulsione fotografica.
Ovviamente anche questa è un'astrazione, riferita ad un sistema ottico ideale; nella realtà la situazione è assai più complessa.
Dal punto di vista della utilizzazione pratica della fotografia in fotogrammetria tale schematizzazione è però sufficiente. La duplicazione dei centri di proiezione a cui abbiamo ora accennato non ha conseguenze per ciò che si riferisce alle considerazioni di carattere geometrico che abbiamo fatto all'inizio di questo paragrafo.
Possiamo infatti assimilare il primo punto nodale al centro di proiezione della immagine fotografica e considerare nulla la distanza fra i due punti nodali. Il primo punto nodale individua il punto dello spazio in cui la fotografia è stata scattata (punto di presa).

1.4.2 PARAMETRI LEGATI ALLA GEOMETRIA DELLA MACCHINA FOTOGRAFICA

L'insieme dei raggi luminosi che, passando attraverso l'obbiettivo, forma l'immagine fotografica, costituisce un fascio o stella di raggi la cui forma dipende dalle caratteristiche geometriche della camera utilizzata. Per utilizzare una fotografia ai fini fotogrammetrici, cioè per ricavarne misure dell'oggetto fotografato, è indispensabile conoscere perfettamente gli elementi che individuano tali caratteristiche od avere la possibilità di determinarli in modo appropriato. Tali elementi sono detti elementi di orientamento interno della camera fotografica. Essi sono descritti qui di seguito.

DISTANZA FOCALE DELL'OBBIETTIVO
Dicesi distanza focale la distanza fra il secondo punto nodale dell'obbiettivo ed il piano focale, misurata lungo l'asse ottico dell'obbiettivo stesso.
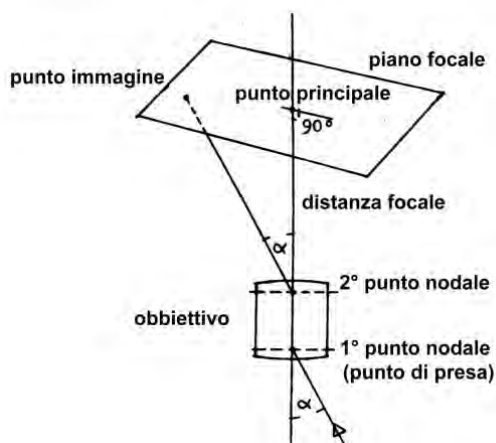
fig.01 – distanza focale

Per piano focale si intende il piano, perpendicolare all'asse dell'obbiettivo, sul quale le immagini dei punti dell'oggetto si formano nella migliore condizione di focatura.
Come è noto, la distanza fra il secondo punto nodale dell'obbiettivo e tale piano varia in funzione della distanza dell'oggetto dalla camera fotografica.

La distanza focale prima definita è quella per la quale si trovano a fuoco sul piano focale i punti immagine di un oggetto posto a distanza infinita dal punto di presa. (o comunque ad una distanza sufficientemente grande in relazione alla distanza focale).
In una normale camera fotografica, destinata a fotografare oggetti posti a distanze dal punto di presa molto diverse fra loro, l'obbiettivo può avvicinarsi od allontanarsi dal piano focale per realizzare le migliori condizioni di focatura in funzione delle differenti distanze.
Nella maggior parte delle prese fotografiche che si effettuano in fotogrammetria la distanza dell'oggetto è quasi sempre molto grande rispetto alla distanza focale, (basti pensare, per esempio, ad una ripresa fotografica aerea). Essa è cioè, normalmente, più grande della distanza iperfocale, (distanza limite oltre la quale l'immagine fotografica si forma sempre a fuoco sul piano focale).
Per tale ragione, nella maggior parte delle camere fotografiche costruite appositamente per usi fotogrammetrici, la distanza fra obbiettivo e piano focale è messa appunto dal costruttore per fotografare all'infinito, (cioè a distanze superiori alla distanza iperfocale), e rimane rigidamente fissa.
La distanza focale determina l'ampiezza del fascio di raggi che forma l'immagine fotografica. Per un determinato formato dell'immagine il fascio avrà ampiezza tanto maggiore quanto minore è la distanza focale e viceversa.
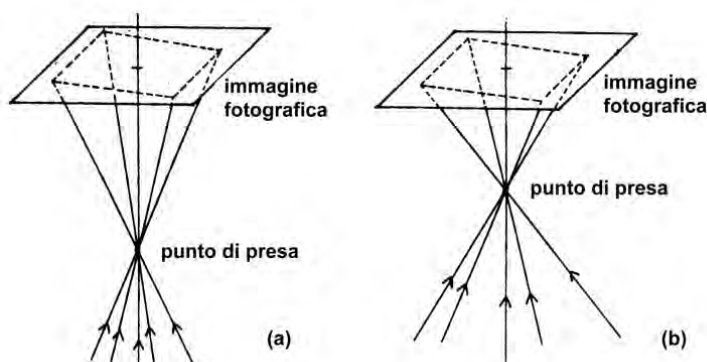
fig.02 – la distanza focale in relazione al fascio di raggi luminosi

PUNTO PRINCIPALE

Il punto principale è il piede della perpendicolare condotta dal secondo punto nodale al piano focale, (vedi fig.01).
Mentre la distanza focale determina l'ampiezza del fascio o stella di raggi proiettanti, il punto principale individua la posizione del piano di proiezione, (in questo caso il piano focale), rispetto al centro di proiezione, (in questo caso il primo od il secondo punto nodale supposto coincidente con il primo).

DISTORSIONE RADIALE

L'obbiettivo di una qualsiasi camera fotografica, per quanta cura possa essere stata posta nella sua progettazione e costruzione, non è mai totalmente privo di difetti.
Alcuni di questi difetti, (aberrazioni), influiscono essenzialmente sulla qualità dell'immagine. Altri invece sulla geometria della stessa immagine e quindi sulle misure che su tale immagine devono essere eseguite.
Queste ultime aberrazioni sono perciò quelle che più direttamente ci interessano.
Fra esse la più importante dal punto di vista fotogrammetrico è la distorsione. La distorsione produce uno spostamento dell'immagine di un

punto rispetto alla posizione che tale immagine avrebbe assunto se l'obbiettivo fosse stato perfettamente corretto.
Di tale spostamento, nelle normali applicazioni fotogrammetriche, viene generalmente presa in considerazione la sola componente nella direzione radiale. Questa ultima viene detta distorsione radiale.

DISTANZA FOCALE EQUIVALENTE E CALIBRATA
Al livello teorico si usa il concetto di distanza focale equivalente. Il termine equivalente sta ad indicare che tale distanza focale, pur essendo riferita ad un sistema ottico complesso quale l'obbiettivo di una camera fotogrammetrica, equivale, per ciò che si riferisce alla geometria del sistema, a quella di una lente semplice avente distanza focale dello stesso valore nominale.
Nella maggior parte degli strumenti fotogrammetrici, in luogo della distanza focale equivalente che abbiamo prima definito, viene utilizzato un particolare valore della distanza focale per il quale si realizza una più favorevole distribuzione della distorsione all'interno del campo di utilizzazione dell'obbiettivo. Tale valore prende il nome di distanza focale calibrata.
Conviene notare che nella pratica operativa si usa spesso il termine "distanza principale" in luogo del termine "distanza focale".
Ricordiamo che il termine "distanza principale" fa parte della terminologia concernente una proiezione centrale. In una proiezione centrale la distanza principale è la lunghezza della perpendicolare condotta dal centro di proiezione al piano di proiezione. Poiché si è supposto considerare la fotografia, dal punto di vista geometrico, una proiezione centrale, l'uso di tale termine è giustificato.
Va notato però che esiste un'esatta corrispondenza fra i due termini solo nel caso di un obbiettivo ideale, privo di distorsione.

CALIBRATURA DI UNA CAMERA FOTOGRAMMETRICA
Come si è già fatto notare, non è possibile utilizzare una fotografia ai fini fotogrammetrici se non sono perfettamente noti, (od esiste la possibilità di determinare con precisione), gli elementi di orientamento interno che abbiano prima definito, (incluso l'eventuale distorsione dell'obbiettivo).
In una camera fotogrammetrica, cioè in una camera costruita appositamente per essere destinata ad usi fotogrammetrici, tali elementi vengono normalmente determinati dal costruttore nelle messa a punto della camera.
Lo stesso costruttore fornisce quindi con la camera i valori della distanza focale, della distorsione radiale e della distanza focale calibrata.
Gli elementi risultanti dalla calibrazione vengono normalmente riportati in un documento detto certificato di calibrazione.

1.4.3 LA STEREOSCOPIA

Per stereoscopia si intende una visione tramite due punti di osservazione differenti. La stereoscopia può essere originata da sistemi di visualizzazione artificiale che consentono di apprezzare la tridimensionalità del mondo esterno, (aspetto quest'ultimo di notevole importanza, come vedremo in seguito, per la pratica della fotogrammetria).

L'uomo gode, tuttavia, di una visione stereoscopica naturale del mondo che lo circonda, e questa avviene proprio grazie agli occhi, che essendo in coppia, consentono un apprezzamento della tridimensionalità dello spazio reale. Nella figura 01 è illustrato, tramite uno schema grafico, il funzionamento del nostro sistema visivo naturale: i bulbi oculari sono visti in pianta. Un punto che si avvicinasse o allontanasse rispetto alla posizione

originaria Q, provocherebbe, alfine di mantenere la collimazione, una variazione angolare della posizione di una delle due pupille. Risulta pertanto di facile comprensione, con questo esempio, come la visione monoculare o monoscopica non sia sufficiente a farci apprezzare la profondità o terza dimensione. Il potere visuale stereoscopico dell'uomo risulta comunque moderatamente accentuato a causa della vicinanza degli occhi rispetto alla distanza degli oggetti osservati. In fotogrammetria si tende a controllare e programmare il rapporto fra queste due grandezze che vanno rispettivamente sotto il nome di "base" e "distanza" di presa proprio per esaltare la tridimensionalità degli oggetti che si vogliono rilevare.
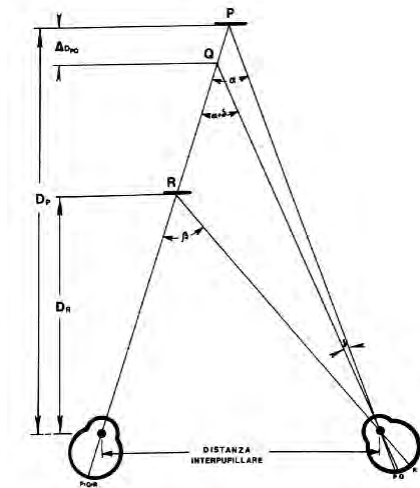
fig.01 – il sistema telemetrico umano realizzato attraverso la variazione della parallasse angolare.

Si evidenzia inoltre che osservando un qualunque oggetto con ambedue gli occhi si percepisce una sola immagine di tale oggetto. Le due immagini, raccolte separatamente dall'occhio sinistro e dall'occhio destro, si "fondono" infatti nel cervello in una immagine unica.
Gli assi visuali risulteranno paralleli fra loro o convergeranno a seconda che si stia osservando un punto molto distante, (cioè posto praticamente all'infinito), od un punto vicino. Più vicino è tale punto più grande è la convergenza degli assi visuali. Se il punto osservato è molto vicino tale convergenza diviene molto grande; lo sforzo di accomodamento degli occhi diviene eccessivo, oltre un certo limite, la fusione delle immagini risulta impossibile. Dell'oggetto osservato si vedranno di conseguenza due immagini (diplopia).
L'angolo formato dai due assi visuali, avente per vertice il punto osservato è detto angolo parallattico o parallasse angolare. Se nel campo visivo sono presenti più punti, posti a distanze diverse fra loro, ad essi corrisponderanno parallassi angolari anch'esse diverse fra loro, grazie alle quali avremo la percezione delle distanze relative tra i punti osservati. La percezione umana consente di apprezzare variazioni di parallasse, e quindi di profondità, fino ad una distanza massima di 500 metri. Alcune persone sono tuttavia incapaci di percepire la stereoscopia.

Per quanto concerne la stereoscopia artificiale, possiamo affermare che esistono delle condizioni precise per poterla apprezzare.
Osserviamo due fotografie dello stesso oggetto, riprese da due punti di presa diversi da loro. Poiché il punto di presa, (centro di proiezione), non è lo stesso, le due immagini, (immagini prospettiche dell'oggetto), sono differentemente disposte sui fotogrammi e più o meno differenti fra loro.
Individuiamo su ciascuna fotografia il punto immagine corrispondente al medesimo punto oggetto. Poniamo ciascuno dei due punti immagine

prescelti al centro dei due nostri campi visivi, (sinistro e destro), ad una interdistanza corrispondente esattamente alla nostra distanza interpupillare e ad una distanza dagli occhi pari a quella della visione distinta.
In questa condizione, quando osserviamo questi due punti, gli assi visuali risultano paralleli fra loro come se stessimo osservando due punti a distanza infinita. Le due immagini del punto preso in considerazione si "fondono" nel nostro cervello in una sola.
Di tutti gli altri punti che stanno intorno al punto suddetto si hanno immagini, (sull'una e sull'altra fotografia), che vengono viste sotto angoli parallattici diversi fra loro e diversi dall'angolo parallattico sotto cui viene visto il punto scelto come riferimento, (per quanto abbiamo detto questo angolo parallattico è uguale a zero poiché corrisponde a raggi visuali paralleli).
Il cervello interpreta queste differenze angolari come parallassi stereoscopiche e fonde le immagini dei punti delle due fotografie in un'unica immagine tridimensionale in cui tutti i punti osservati appaiono situati avanti od indietro, (o più alti o più bassi), rispetto al punto assunto come riferimento.
Il mantenere paralleli fra loro gli assi visuali diretti verso il punto di riferimento richiede un certo sforzo ed un certo allenamento. Per evitare tale sforzo e rendere facile per chiunque l'osservazione stereoscopica è sufficiente interporre fra gli occhi e le fotografie due lenti di lunghezza focale appropriata che consentono di vedere a fuoco le foto e di osservare comodamente all'infinito, (raggi visuali paralleli). Su questo principio si fonda lo stereoscopio.
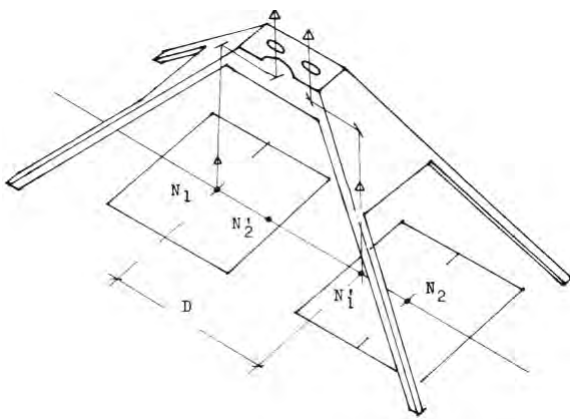
fig.02 – funzionamento dello stereoscopio - D = distanza fra le fotografie, corrisponde alla interdistanza fra i centri dei campi visivi).

1.5 I PRINCIPI TEORICI

A livello teorico l'applicazione fotogrammetrica comporta la risoluzione di un problema di fondo che è quello di relazionare lo spazio oggetto tridimensionale con lo spazio immagine bidimensionale in maniera univoca e così da poter far corrispondere punti discreti, opportunamente scelti, nei due sistemi di grandezze. Superato questo obbiettivo sarà poi possibile relazionare qualsiasi punto del continuo spazio immagine al corrispondente punto nello spazio oggetto.

In fotogrammetria si individuano pertanto tre tipi di grandezze:
- le coordinate 3D (X,Y,Z) dell'oggetto;
- le coordinate 2D (x,y) dell'immagine;
- i valori dei parametri di orientamento Γ;
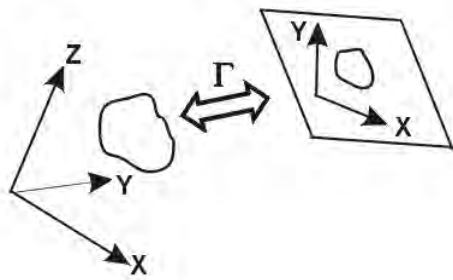
fig.01 – lo spazio oggetto tridimensionale e la relazione con lo spazio immagine bidimensionale

Per meglio chiarire quanto sopra si danno le seguente definizioni:

- per spazio oggetto si intende l'oggetto da rilevare nella sua volumetria;
- per spazio immagine si intende la ripresa fotografica dell'oggetto da rilevare;
- per punti discreti si intendono dei punti, che siano ben individuabili sia sull'oggetto che sull'immagine fotografica dello stesso.
- i parametri di orientamento sono quelli che governano i rapporti fra lo spazio oggetto 3D e quello immagine 2D: essi esprimono le caratteristiche del mezzo fotografico e il suo posizionamento fra i due tipi di spazi;
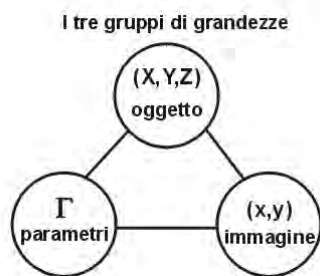
fig.02 – i tre gruppi di grandezze

Inoltre, nel processo di rilevamento fotogrammetrico, si individuano tre fasi principali nelle quali le menzionate grandezze vengono relazionate in maniera differente:
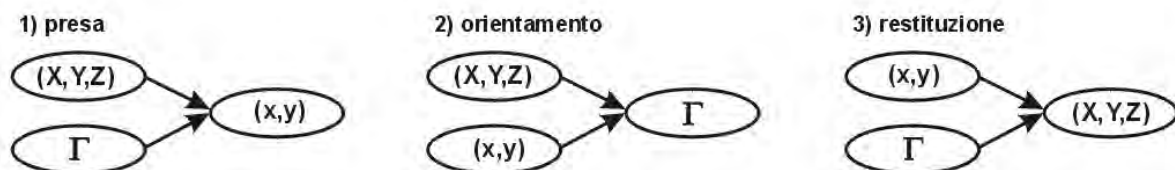
fig.03 – le fasi del rilievo fotogrammetrico

- Fase di presa: nella presa sono assegnati due gruppi di parametri: l'oggetto del rilievo (X,Y,Z) e la fotocamera, (posizione e tipo di fotocamera: ovvero i parametri Γ della trasformazione).
- Fase di orientamento: ancorché fissati nella fase precedente, e dunque per questo conoscibili fin da allora, si preferisce determinare a posteriori il gruppo Γ dei parametri della trasformazione; questa determinazione si chiama orientamento e si effettua disponendo di un certo numero di punti di cui si conoscano le posizioni nei due spazi in modo da poter risalire ai parametri della trasformazione.

- Fase di restituzione: con i parametri ormai noti, si possono ora trasformare gli spazi immagine 2D nello spazio oggetto 3D quindi dar luogo alla restituzione dell'oggetto rilevato.

La relazione fra lo spazio 2D di e lo spazio 3D è nota come proiettività ed è governata da precise relazioni matematiche e geometriche: il problema è affrontabile infatti sia per via analitica che attraverso applicazioni della geometria descrittiva.
In altre parole, si può affermare che fra i due spazi esiste una proiettività quando è possibile trovare una matrice A, fungente da operatore di trasformazione, tale che, individuato un generico punto oggetto P, che descrive lo spazio 3D, (detto spazio oggetto), esista un corrispondente punto P' che descrive lo spazio 2D, (detto spazio immagine).

In questa trattazione semplificata sono omesse le formulazioni analitiche del calcolo matriciale che traducono l'impostazione teorica del problema, tuttavia la relazione di cui sopra è schematizzabile con la seguente:

$u = A \bullet U$

dove u è una matrice colonna con le coordinate bidimensionali (dello spazio immagine), A è la matrice di trasformazione, (contenente i parametri di orientamento), ed U è una matrice colonna con le coordinate tridimensionali, (dello spazio oggetto). Il problema così strutturato può essere infine esplicitato in sistemi di equazioni che conducono a varie dimostrazioni per via analitica.

Per poter calcolare i 12 parametri della matrice A, (fungente da operatore di trasformazione), sono necessarie almeno 12 equazioni: occorre un insieme di punti noti nei due spazi; ogni punto consente di scrivere due equazioni. Con un minimo di sei punti si ricavano tutte le incognite.

Ma una delle dimostrazioni più importanti, al fine di comprendere l'impostazione teorica del rilievo fotogrammetrico, è quella in cui si esprimono le coordinate bidimensionali x,y (spazio immagine), in funzione di quelle tridimensionali X,Y,Z (spazio oggetto): il sistema di equazioni in questo caso non fornisce una sola soluzione. Ad un punto 2D corrispondono infatti infiniti punti 3D, tutti quelli che si ottengono fissando il valore di una delle tre coordinate (la Z per esempio), ed ottenendo così le restanti due. Al variare della Z, da $-\infty$ a $+\infty$ il punto oggetto P, descrive così una retta detta retta proiettiva, congiungente il punto immagine P' al punto oggetto P.

Da quanto sopra esposto, si intuisce che nella risoluzione del problema fotogrammetrico una sola immagine, rappresentante lo spazio oggetto e relazionata ad esso tramite parametri di orientamento, non dà luogo ad una sola soluzione, e pertanto si può enunciare la seguente:

"Da una sola fotografia non è possibile ricavare misure tridimensionali a meno che non si pongano particolari vincoli riguardanti la forma dell'oggetto. Nel caso generale per poter effettuare misure tridimensionali occorre considerare più foto dell'oggetto."

Una sola retta proiettiva non è dunque sufficiente per la ricostruzione del punto oggetto. Mentre dallo spazio oggetto si genera lo spazio immagine, da un solo spazio immagine non è possibile risalire allo spazio oggetto che lo ha generato.
Lo schema grafico di figura 01, in relazione ad un rilievo fotogrammetrico, sarà dunque più propriamente sostituito dallo schema seguente di figura 04.
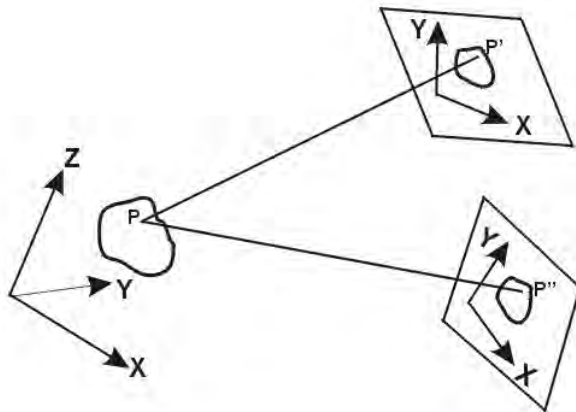
fig.04 – la risoluzione del problema fotogrammetrico con P' e P'' punti omologhi

Ed inoltre si aggiunge: date due o più fotografie si chiamano punti omologhi le diverse rappresentazioni sui due fotogrammi dello stesso particolare. Al momento dello scatto ciascun punto fotografico, il suo corrispondente punto oggetto ed il centro di proiezione giacciono su di una retta.

Il punto origine O di coordinate (Xo, Yo, Zo) viene detto centro della proiettività. Per esso passano tutte le rette proiettive in quanto le sue coordinate corrispondono a una qualunque coppia (x,y) di coordinate immagine. I parametri della matrice di trasformazione sono propri dell'insieme di rette passanti per il centro della proiettività, o centro di proiezione. L'insieme delle rette proiettive si definisce stella o fascio proiettivo.
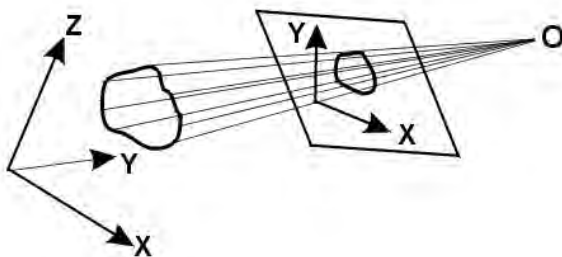
fig.05 - il centro della proiettività

Come già anticipato, è necessario conoscere dei punti, detti "punti noti", in ambedue gli spazi, (spazio oggetto e spazio immagine): questi dovranno essere presenti ed individuabili in ambedue le prese fotografiche, (nei due spazi immagine), come punti omologhi. Il numero di questi punti dovrà essere almeno di sei, anche se teoricamente si riducono a tre e praticamente possono essere anche cinque per coppia di immagini, (grazie a considerazioni matematiche, all'utilizzazione di misurazioni di calibrazione ed a proprietà geometriche).

Il sistema di rilevamento fotogrammetrico tramite coppie di prese fotografiche, (ovvero la determinazione dello spazio oggetto attraverso due spazi bidimensionali), viene detto rilievo fotogrammetrico stereoscopico proprio in virtù della registrazione visiva "stereo-scopica" dell'oggetto.

ANALOGIA TEODOLITE - FOTOCAMERA METRICA
Quanto è stato esposto, relativamente alla necessità di avere più immagini di un soggetto per poter ricavare informazioni metriche tridimensionali su di esso, ha una dimostrazione teorica e matematica che è stata solamente accennata per brevità e semplicità di trattazione. Tuttavia tale concetto fondamentale può essere agevolmente compreso riferendosi al ben più noto sistema di rilevamento a mezzo del teodolite: esiste infatti una notevole analogia fra la procedura con la quale si realizza un rilievo strumentale con il teodolite e quella con prese fotogrammetriche.

Realizzare una presa fotogrammetrica equivale ad una speciale collimazione con il teodolite dove invece di acquisire un singolo punto si acquisisce tutti i possibili punti rilevabili da quella postazione. Si osserva pertanto quanto segue:

- Il fotogramma è la registrazione analogica di tutte le possibili collimazioni del teodolite avente il centro coincidente con il centro della proiettività.
- Il problema fotogrammetrico, rispetto all'analogo rilievo topografico, è complicato dal fatto che occorre sicuramente stabilire la posizione e l'orientamento del fotogramma all'atto della presa.
- Il grande vantaggio della fotogrammetria rispetto alla topografia, risiede nella grande quantità di informazioni ricavabili in una singola presa.

Se realizzare una presa fotogrammetrica è equivalente ad una stazione di teodolite allora risulta ben comprensibile la necessità di triangolare i punti rilevati con una seconda presa fotogrammetrica così come avviene con il teodolite: in altre parole si può affermare che la determinazione dei punti rilevati avviene in entrambi i metodi di rilevo per intersezione in avanti.
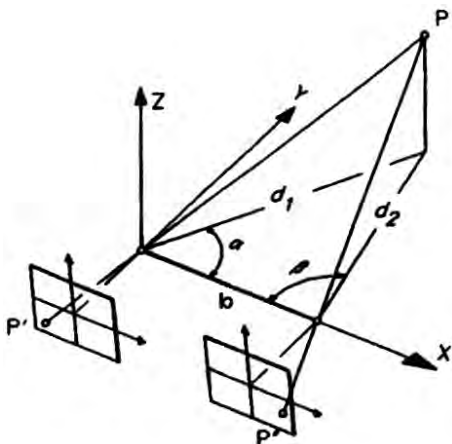
fig.06 - rilievo fotogrammetrico: rilievo per intersezione in avanti.

Si evidenzia infine quanto segue:

- La collimazione dei punti con il teodolite non può essere che monoscopica, cioè effettuata con un solo occhio.
- L'osservazione in fotogrammetria, (durante le successive elaborazioni), avviene in stereoscopia, cioè mediante entrambi gli occhi, secondo la visione naturale umana che consente di apprezzare anche la terza dimensione, la profondità.

Principi teorici tratti da: Gabriele Fangi - Univ. di Ancona - note di fotogrammetria - clua ed. Ancona

1.6 GLI ORIENTAMENTI

Poiché ciascuna porzione dell'oggetto da rilevare è stata fotografata da due punti di presa distinti, di ciascun punto dell'oggetto in questione disponiamo di due immagini, (immagini omologhe), una per ciascuna fotografia.
Queste due immagini omologhe sono state formate da una coppia di raggi, (raggi omologhi), i quali, partendo dal punto dell'oggetto fotografato e passando attraverso il primo punto nodale dell'obbiettivo della macchina da presa, (punto di presa), hanno impressionato l'emulsione sensibile della pellicola fotografica.
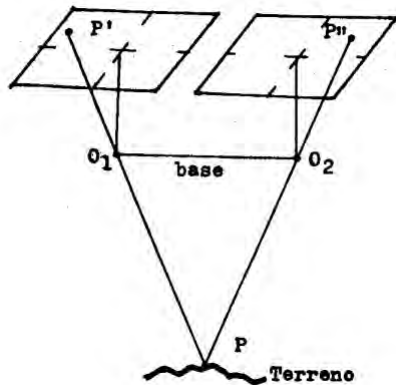
fig.01 – P' P'' immagini omologhe del punto P; O1 O2 punti di presa; P punto oggetto

L'insieme degli infiniti raggi che, passando attraverso il punto di presa, hanno formato l'immagine fotografica, costituisce un fascio o stella di raggi la cui forma dipende dalle caratteristiche geometriche della macchina fotografica utilizzata, (definite dai suoi elementi di orientamento interno).
È intuitivo che, se si proietta tale immagine fotografica, con un proiettore od altro mezzo appropriato, che possieda o possa riprodurre le stesse caratteristiche geometriche della macchina fotografica con cui la fotografia è stata ripresa, il fascio di raggi così proiettato sarà simile a quello che ha formato l'immagine fotografica.
Poiché dell'oggetto fotografato disponiamo di due fotografie supponiamo di proiettarle contemporaneamente con due proiettori, (od altri mezzi idonei), ambedue capaci di riprodurre perfettamente i due fasci di raggi che hanno formato le due immagini fotografiche.
Se, con opportuni movimenti dei due proiettori, (o degli altri dispositivi utilizzati a tale scopo), riusciamo a ricollocare questi due fasci di raggi nello spazio nella stessa posizione relativa, (cioè dell'uno rispetto all'altro), che essi avevano al momento in cui le due fotografie sono state scattate, le infinite coppie di raggi omologhi che hanno formato le due immagini torneranno ciascuna ad intersecarsi nei rispettivi punti oggetto.
L'insieme di questi punti costituisce un modello dell'oggetto fotografato, (o della porzione di esso corrispondente alle due fotografie prese in considerazione), che, ricorrendo a mezzi e metodi appropriati, potremo osservare e misurare.

Ovviamente, nella generalità dei casi, i due proiettori, (o gli altri mezzi idonei), che abbiamo supposto usare per ricostruire i due fasci proiettanti, non potranno essere collocati nello spazio alla stessa distanza che avevano fra loro i due punti di presa al momento in cui le due fotografie sono state eseguite. Normalmente questa distanza sarà assai più piccola di quella originale. La distanza a cui vengono collocati i due proiettori o, per meglio dire i due corrispondenti centri di proiezione, determina la dimensione del

modello. Naturalmente questo aspetto della scala del modello sussiste solo nella pratica ottico meccanica della fotogrammetria, poiché quando si opera nel formato digitale si processa ed elabora i dati direttamente in scala oggetto senza rapporti di riduzione e le due immagini fotografiche digitalizzate possono essere virtualmente e numericamente poste a qualsiasi distanza.

I movimenti necessari all'orientamento dei due fasci proiettanti nello spazio sono riconducibili a tre soli movimenti di traslazione ed a tre soli movimenti di rotazione per ciascuno dei due fasci proiettanti.
Più precisamente essi sono riconducibili a:

- movimenti di traslazione dei centri di proiezione paralleli alle tre direzioni X, Y, Z;
- movimenti di rotazione intorno ad assi paralleli alle direzioni X ed Y ed intorno all'asse del fascio.
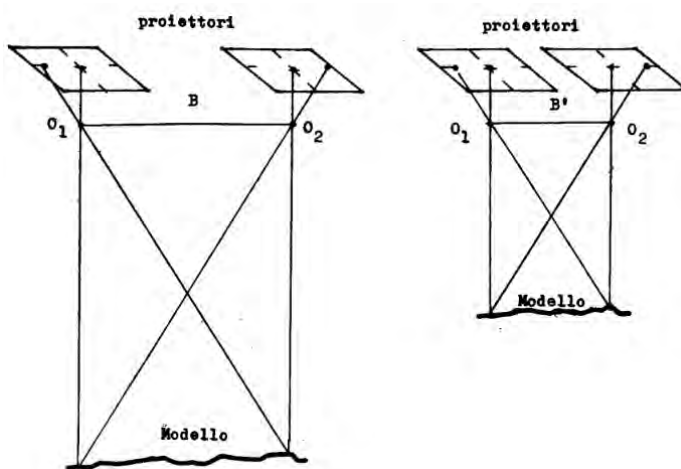
fig.02 – la scala del modello è funzione della distanza fra i proiettori

La geometria proiettiva prova che, se in due fasci prospettici 5 coppie di raggi omologhi vengono portati ad intersecarsi nei rispettivi punti oggetto, anche tutte le altre coppie di raggi si intersecheranno.
Di conseguenza, per realizzare l'orientamento relativo dei due fasci, sarà sufficiente prendere in considerazione cinque soli punti del modello formato dai due fasci stessi, (cioè cinque punti dislocati entro la parte comune alle due fotografie).
I metodi operativi che vengono seguiti per effettuare tale operazione sono detti di orientamento relativo.
Al termine di tale operazione i due fasci di raggi avranno nello spazio l'orientamento relativo, (cioè dell'uno rispetto all'altro), che essi avevano al momento in cui le fotografie sono state scattate. In queste condizioni tutte le coppie di raggi omologhi dei due fasci si intersecheranno correttamente e l'insieme di questi punti di intersezione riprodurrà, come si è precedentemente detto, un modello dell'oggetto fotografato.
Questo modello è simile, (similitudine geometrica), all'oggetto fotografato, ma non ci è ancora noto quali relazioni sussistano fra le sue dimensioni e quelle dell'oggetto, cioè non ci è nota la scala del modello da noi formato, né ci è noto il suo orientamento nello spazio rispetto all'oggetto.
Di conseguenza, le misure che possiamo effettuare sul modello realizzato mediante l'orientamento relativo dei due fasci ci consentono di determinare solamente la posizione spaziale relativa dei punti che lo compongono ma non la loro posizione spaziale assoluta.

Per poter definire scala ed orientamento del modello occorre conoscere alcuni elementi dimensionali e di orientamento dell'oggetto fotografato che possano essere confrontati con i corrispondenti elementi del modello.
Sarà sufficiente, per esempio, conoscere la posizione di alcuni punti dell'oggetto, definita in un certo sistema di riferimento, e confrontarla con quella dei corrispondenti punti del modello.
Ovviamente i punti dell'oggetto utilizzabili a tale scopo devono essere perfettamente riconoscibili ed individuabili nel modello.
Questa operazione, per mezzo della quale il modello che è stato ricostruito con l'orientamento relativo viene confrontato con l'oggetto fotografato e ad esso riferito divenendo atto ad essere misurato, viene detta operazione di orientamento assoluto.
Mediante tale confronto sarà possibile determinare i valori delle rotazioni ϕ, ω, κ, che occorre imprimere ad ambedue i fasci, (il loro orientamento relativo non deve, ovviamente, essere alterato), e delle traslazioni X, Y, Z, che è necessario imprimere ai due centri di proiezione per ripristinare la corretta posizione spaziale del modello nei confronti del sistema di riferimento oggetto e realizzarne la scala desiderata.
Dopo che tali rotazioni e traslazioni saranno state introdotte e l'operazione di orientamento assoluto completata, i due fasci proiettanti avranno riassunto la esatta posizione spaziale, (salvo la distanza fra i due centri di proiezione), che essi avevano al momento della presa nei confronti dell'oggetto fotografato.
A tale posizione spaziale finale corrisponderanno, per ciascuno dei due fasci, determinati valori delle rotazioni ϕ, ω, κ, nonché determinati valori delle coordinate che individuano la posizione nello spazio dei due centri di proiezione. Questi sono detti elementi o parametri di orientamento esterno dei due fasci proiettanti.
Per poter determinare i parametri di orientamento esterno sono di fondamentale importanza, (anche se non indispensabili per rilievi più approssimativi), i dati caratteristici della fotocamera con cui sono state effettuate le prese, così come da certificato di calibrazione. Questi ultimi parametri, precedentemente illustrati, definiscono il cosiddetto orientamento interno.
Note tratte da “Appunti di Fotogrammetria” – Galileo Siscam – Corso aziendale – di Ezio Viti

1.7 GLI ORIENTAMENTI NEL METODO FOTOGRAMMETRICO

Prima di poter effettuare una restituzione fotogrammetrica è necessario individuare la posizione spaziale delle foto al momento dello scatto. Questa operazione consiste nel trovare la posizione del centro di presa rispetto al fotogramma e rispetto al sistema di riferimento oggetto. La prima operazione prende il nome di orientamento interno, la seconda di orientamento esterno.

Per poter determinare l'orientamento interno è necessario disporre di un certificato che descriva le caratteristiche geometriche della fotocamera. In esso deve essere riportata la lunghezza focale cioè la distanza tra il centro di proiezione, (punto nodale dell'obiettivo), ed il piano su cui si trova la pellicola. La proiezione sul piano della pellicola del centro di proiezione prende il nome di punto principale del fotogramma e per determinarla è necessario che sul fotogramma vengano impressionate la posizione di alcuni punti solidali con la fotocamera di cui il certificato riporterà le coordinate in un sistema di riferimento che ha per origine il punto principale.
Quando i dati della fotocamera non sono in alcun modo ottenibili è possibile omettere l'orientamento interno delegando all'orientamento esterno la determinazione di tutti i parametri.

L'orientamento esterno viene determinato imponendo la corrispondenza tra alcuni punti individuati sul fotogramma e le rispettive coordinate nel sistema di riferimento oggetto. Questa procedura prende il nome di Vertice di Piramide.
L'operazione viene scomposta in due fasi, nella prima, (detta orientamento relativo), si determina la posizione reciproca tra i due fotogrammi, così facendo si ricostruisce il luogo delle intersezioni dei raggi omologhi; questo viene chiamato modello ed è in pratica una ricostruzione in scala dell'oggetto reale. Nella seconda, (detta orientamento assoluto), si orienta e si scala il modello accoppiando punti osservati sul modello con le rispettive coordinate oggetto.
Note tratte da "Fotogrammetria Digitale" – Siscam – Ing. Franco Flamigni.

1.8 GLI STRUMENTI DI RESTITUZIONE

La elaborazione dei dati può avvenire secondo sistemi diversi che dipendono fondamentalmente dalla strumentazione impiegata.
Lo strumento impiegato per la elaborazione dei dati raccolti, al fine di trarre informazioni metriche descrittive dell'oggetto rilevato, prende il nome di "stereorestitutore", e l'operazione viene detta "stereorestituzione", o più brevemente "restituzione".

Lo stereorestitutore deve consentire le seguenti operazioni:

- la ricostruzione delle caratteristiche geometriche dei fasci o stelle di raggi che hanno formato le immagini fotografiche da utilizzare, (cioè il ripristino dell'orientamento interno di ciascuna fotografia);
- la ricostruzione della posizione relativa che i due fasci avevano al momento della presa, (cioè l'effettuazione dell'orientamento relativo delle due fotografie);
- la ricostruzione della posizione assoluta dei due fasci proiettanti nello spazio, (cioè l'effettuazione dell'orientamento assoluto del modello che è stato formato nella precedente fase di orientamento relativo);
- la osservazione stereoscopica delle fotografie e la individuazione e collimazione dei punti delle stesse fotografie corrispondenti alle coppie di raggi proiettanti la cui posizione spaziale è stata ricostruita con le operazioni di orientamento appena menzionate;
- la determinazione della posizione spaziale dei punti del modello in un appropriato sistema di riferimento;
- il trasferimento in forma grafica e/o numerica, sulla carta o su altri supporti appropriati, delle informazioni geometriche contenute nelle fotografie, (l'effettuazione dell'operazione di restituzione propriamente detta).

Originariamente lo stereorestitutore era una macchina di dimensioni e peso considerevoli, (equivalenti ad una grande scrivania da lavoro), ed aveva un funzionamento di tipo ottico-meccanico che consentiva il posizionamento delle coppie di fotogrammi su appositi supporti e l'osservazione degli stessi attraverso lenti che agevolavano la percezione stereoscopica del modello virtuale rappresentante la porzione di oggetto fotografato.

Oggi queste strumentazioni sono in gran parte state sostituite da sistemi totalmente digitali che costituiscono, come già detto, una vera e sostanziale innovazione per la disciplina offrendo numerosi vantaggi, fra cui, versatilità, praticità, ed economia. Prima di descrivere il sistema digitale è opportuno comunque dare una breve descrizione degli strumenti di restituzione

utilizzati fino a pochi anni addietro ed ancora in uso in svariati laboratori di cartografia nel mondo.

Gli strumenti di restituzione, come sopra definiti, ovvero prima dell'avvento del digitale, sono raggruppabili in due grandi categorie: analogici ed analitici.

1.8.1 STEREORESTITUTORI ANALOGICI

Gli apparati di stereorestituzione analogica presentano una struttura piuttosto complessa (vedi fig. 01), anche se il principio su cui si basano è in effetti alquanto elementare. Essi ricostruiscono infatti nello spazio virtuale, in maniera concettualmente semplice, il cammino inverso dei raggi incidenti, a partire dalle immagini dei fotogrammi, dopo averne ripristinata la posizione e la giacitura da essi occupata al momento della presa nello spazio oggetto, per poter quindi procedere alla loro riproiezione.
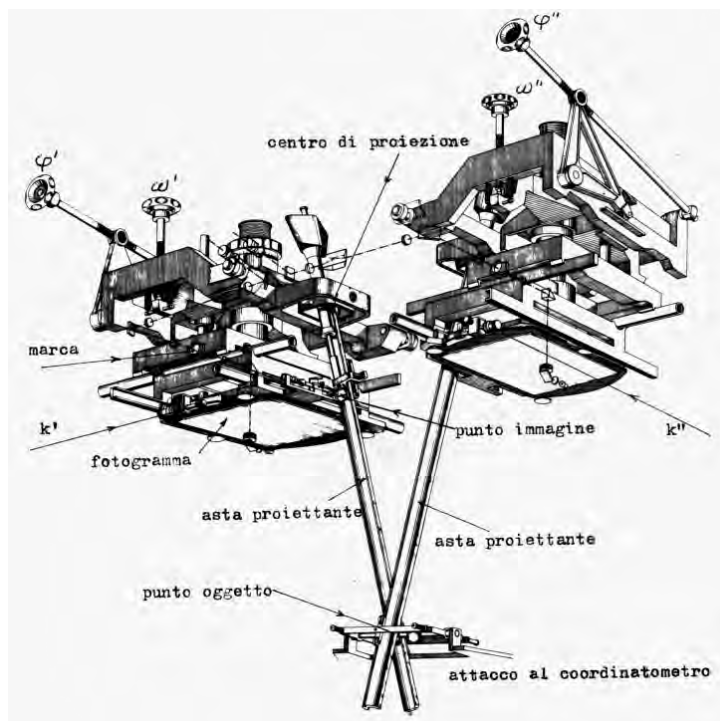
fig.01 – Stereosimplex G6 - gruppi camere proiezione ed aste proiettanti

Negli strumenti analogici il problema concernente la ricostruzione dei raggi proiettanti e di orientamento relativo ed assoluto è affrontato e risolto esclusivamente utilizzando organi ottici e/o meccanici per mezzo dei quali i raggi proiettanti ed il modello costituito dai loro punti di intersezione sono fisicamente ricostruiti nello strumento stesso.
L'operatore è in grado, terminate le operazioni di orientamento, di visualizzare il modello stereoscopico, (l'immagine tridimensionale virtuale, ottenuta dall'osservazione binoculare di una coppia di immagini stereoscopiche, prende generalmente il nome di modello stereoscopico o immagine plastica dello spazio interessato).
Le differenti operazioni di misura sul modello stereoscopico virtuale vengono effettuate portando l'indice mobile o marca mobile, a diretto contatto con i più significativi punti dell'immagine plastica, e leggendo sulle diverse scale graduate del sistema di riferimento strumentale le tre relative coordinate spaziali. Più precisamente, questo sistema di collimazione avviene

sovrapponendo durante l'osservazione binoculare due indici sulle due distinte immagini stereoscopiche in maniera che ciascuno di essi coincida con un punto omologo, i due indici si fonderanno per formare una sola immagine che nel modello stereoscopico risultante, sarà situata alla stessa altezza del punto considerato. Su questo principio, detto dell'indice mobile, o della marca mobile, si basa tutta la teoria della misura stereoscopica delle altezze, o delle profondità, dei diversi punti costituenti il modello stereoscopico.
Mediante opportuni rinvii e trasmissioni meccaniche o elettriche, i movimenti relativi dell'indice mobile rispetto all'immagine plastica possono essere trasmessi alla punta tracciante di un tavolo da disegno, collegato all'apparato stereorestitutore, per la rappresentazione grafica dell'oggetto rispetto al piano di riferimento prescelto.
Gli apparati stereorestitutori presentano in generale organi meccanici e sistemi ottici di osservazione ricorrenti, anche se la loro concezione costruttiva si differenzia sia per quanto concerne il sistema di proiezione adottato che per la precisione conseguibile nella loro utilizzazione. - Note tratte da: M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

1.8.2 STEREORESTITUTORI ANALITICI

La restituzione di uno stereogramma può essere realizzata in maniera alquanto immediata, ricorrendo all'elaborazione analitica delle diverse coordinate fotografiche piane dei punti omologhi.
In pratica, tenendo presenti le proprietà geometriche di ciascun fotogramma della coppia stereoscopica, la costruzione del modello stereoscopico virtuale di un oggetto ritratto può essere ottenuta dalle relazioni della geometria analitica dello spazio tridimensionale. Queste consentono appunto di operare una trasformazione omografica dai due sistemi di riferimento piani x,y e x',y' espressi da ciascun fotogramma, direttamente al sistema di riferimento tridimensionale X,Y,Z dell'oggetto. Si tratta di un'operazione, dunque, che corrisponde alla sostituzione di un sistema proiettivo fisicamente materializzato, con un altro sistema proiettivo definito esclusivamente da relazioni analitiche capaci di esprimere le medesime proprietà teoriche.
L'apparato di base per la restituzione analitica è relativamente semplice, poiché risulta in effetti costituito da tre parti fondamentali mutuamente connesse, e cioè: lo stereocomparatore, l'elaboratore e l'elettrocoordinatografo.
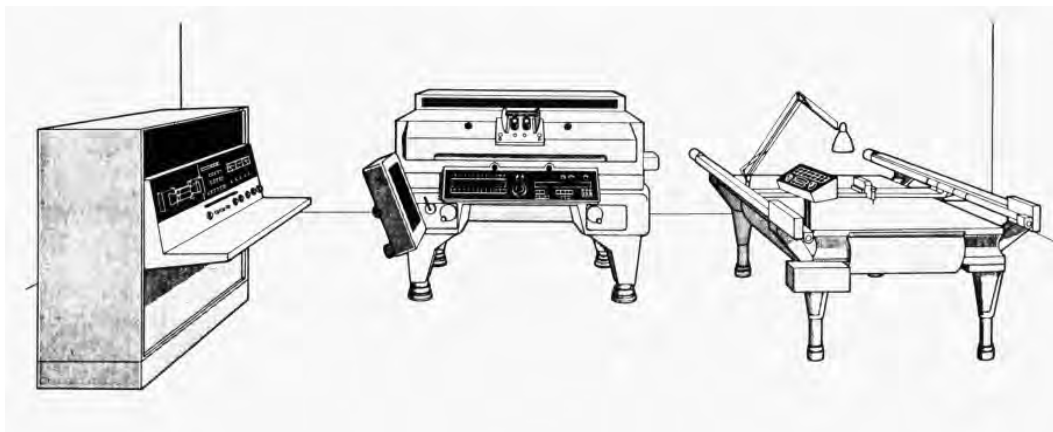
fig.01 – L'analytical plotter AP/C. Vista d'insieme dei vari componenti il sistema di restituzione analitica

Lo stereocomparatore supporta i due fotogrammi che costituiscono la coppia stereoscopica, situandoli in posizione tale da consentire la relativa osservazione stereoscopica. Fissati i fotogrammi sul loro supporto l'apparato consente di eseguire delle misurazioni che vengono poi acquisite dall'elaboratore.
Negli strumenti analitici il problema concernente la ricostruzione dei raggi proiettanti e di orientamento relativo ed assoluto è affrontato e risolto esclusivamente utilizzando procedimenti di calcolo.
La restituzione dello stereogramma viene effettuata dall'operatore mediante l'osservazione stereoscopica, collimando di volta in volta i punti considerati con l'indice mobile, o marca mobile. Lo spostamento dell'indice di misura avviene azionando opportune manovelle ed è correlato sia all'elaboratore, (che a sua volta comanda la traslazione di ciascun fotogramma), sia ad una matita tracciante nel piano dell'elettrocoordinatografo, opportunamente regolato per la rappresentazione grafica in scala. - Note tratte da: M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

1.8.3 STEREORESTITUTORI DIGITALI

Il momento decisivo in cui l'intero processo di restituzione fotogrammetrica è divenuto gestibile unicamente in formato digitale è stato quello in cui gli elaboratori sono stati dotati di processori e schede grafiche sufficientemente potenti a gestire immagini numeriche di tipo raster.
Un'immagine numerica è una matrice, (tabella), bidimensionale di numeri ciascuno dei quali rappresenta il livello di luce o di colore corrispondente a quella posizione. Le immagini numeriche possono essere ottenute direttamente utilizzando fotocamere digitali o acquisendo copie su carta o pellicola mediante dispositivi detti scanner.
Una volta memorizzate, in formato digitale, le immagini fotografiche stereoscopiche dello spazio che si intende rilevare, è possibile operare tutte le fasi del processo di restituzione in ambiente digitale, (dagli orientamenti alla restituzione vera e propria), attraverso l'uso di software specifici, e di una attrezzatura accessoria sofisticata ma di semplice utilizzo.
Il software segue delle procedure di calcolo che derivano dalla formulazione analitica della proiettività e che conducono alla determinazione delle coordinate tridimensionali dello spazio interessato dal rilievo, espresse direttamente nei formati condivisi dai più diffusi programmi di disegno numerico CAD, (Computer Aided Drawing).
Tutte le operazioni relativamente agli orientamenti avvengono in modalità numerica e svariate possono essere le opzioni con cui si determinano le incognite della trasformazione, in funzione dei dati disponibili.
Terminata la fase degli orientamenti è possibile passare dalla visualizzazione monoscopica delle immagini a quella stereoscopica.

Per osservare le coppie di immagini in stereoscopia vi sono varie tecniche, che comunque sono basate sul principio di far percepire contemporaneamente, (o a distanza di frazioni di secondo), all'operatore l'immagine destra con l'occhio destro e quella sinistra col sinistro. Le tecniche più comuni sono le seguenti:

- modalità anaglifica: l'operatore indossa occhiali con lenti bicolori (generalmente una rossa ed una blu), ed osserva la stereo-coppia sul monitor convertita negli stessi colori delle lenti, (es.: una immagine rossa quasi sovrapposta a quella blu).
- modalità passiva: l'operatore indossa occhiali polarizzati che gli consentono una visione alternata delle due immagini della stereo-coppia su monitor speciali.

- modalità attiva: l'operatore è dotato di occhiali a polarizzazione attiva che gli consentono di visualizzare alternativamente, e ad alta frequenza (60KHz), le immagini della stereo-coppia al proprio monitor, (monitor standard che deve essere dotato di un emettitore sincronizzato con gli occhiali).

Nella visione alternata l'impressione finale sarà comunque quella di vedere, in maniera continua, il modello stereoscopico, (o immagine plastica).

L'operatore può esplorare il modello stereoscopico e muovere su di esso un puntatore con l'uso del mouse coprendo così due dimensioni, mentre gli sarà possibile spostarsi nella profondità, (terza dimensione), con l'uso di una trackball, (sistema di puntamento similare al mouse).
I punti collimati saranno direttamente espressi, in formato digitale, nelle loro coordinate spaziali (X,Y,Z), in scala oggetto ed eventualmente georeferenziati, visto che, così come avviene nella fase degli orientamenti e nella rappresentazione CAD, il modello digitale viene sempre costituito in scala oggetto e mai con rapporti di riduzione che si rendono necessari solo nella fase di stampa. Questo è possibile grazie al fatto che si opera in uno spazio numerico.

fig.01 – stereorestitutore digitale stereodigit a visione passiva e stereorestitutore digitale con operatore munito di occhiali a polarizzazione attiva.

I vantaggi di questo ultimo sistema di restituzione sono innumerevoli e sono associati ad una notevole riduzione dell'attrezzatura specialistica necessaria contribuendo così all'applicazione più estesa del metodo fotogrammetrico.
Inoltre i software per stereometria digitale, (ormai in gran numero sul mercato), non introducono nessuna alterazione sull'entità dei dati, al punto che non ha senso parlare di precisione come caratteristica del software perché questa dipende esclusivamente dalle caratteristiche della fotocamera, dalle caratteristiche dello scanner e dalla accuratezza dei punti di controllo utilizzati.

Si noti, infine, come in tutti i sistemi di restituzione illustrati, il risultato finale del rilievo sia comunque sempre un disegno vettoriale, (composto da vettori o linee): la fotogrammetria stereoscopica produce dunque, come risultato finale un disegno che rappresenta il rilievo dello spazio indagato.

1.9 MODALITÀ OPERATIVE

A seguito delle premesse e dei principi teorici descritti nei paragrafi precedenti, si rende necessario comprendere quale sia, a livello operativo, il metodo fotogrammetrico definendo, pur per sommi capi, quali siano le fasi di campagna, quelle di restituzione ed infine il prodotto finale. Per approfondimenti si faccia riferimento comunque ad i testi in bibliografia.

PROGETTO DEL RILIEVO

Per eseguire un rilievo fotogrammetrico architettonico è necessario compiere preliminarmente una fase di progettazione del rilievo e di valutazione della precisione necessaria in funzione delle finalità del rilievo. La progettazione deve tenere conto delle aree accessibili e della possibilità di eseguire tutte le prese necessarie da punti e distanze opportune, programmando la copertura completa delle aree oggetto del rilievo con i coni ottici di presa in funzione dell'attrezzatura utilizzata e delle precisioni richieste. Talvolta è necessario prevedere l'impiego di ponteggi ed elevatori per poter eseguire le prese fotografiche da angolazioni più favorevoli. Devono essere previsti e stabiliti i piani di riferimento, ovvero i piani di rappresentazione, specie in strutture complesse ed articolate. Per quanto concerne il controllo della precisione, invece, è necessario eseguire dei calcoli valutando, (ed eventualmente variando), i seguenti parametri: focale dell'ottica, dimensione del negativo, scala media di presa, sensibilità e grana della pellicola, distanza di presa, numero di fotogrammi e numero di punti noti necessari.

FASE DI CAMPAGNA

Successivamente si passa alla fase di campagna nella quale si realizzano coppie di prese fotografiche con attrezzatura dedicata, (macchina fotografica metrica o semi-metrica), avendo cura che queste siano scattate rispettando diversi parametri operativi di tipo geometrico e fotografico: sovrapposizione dei fotogrammi, distanza di presa, base di presa, illuminazione, esposizione e pellicola in accordo con il progetto di rilievo. Inoltre per ogni coppia di fotogrammi devono essere rilevati, nelle loro coordinate spaziali, almeno 6 punti di riferimento chiaramente visibili, (monografati o contrassegnati da mire), in ambedue i fotogrammi componenti la stereo-coppia, (i punti possono essere anche in numero minore se sono disponibili altre informazioni ed in dipendenza di varie valutazioni relative all'organizzazione dell'intero progetto di ripresa). Durante il rilievo di campagna vengono altresì rilevati tramite sistemi tradizionali o strumentali numerosi altri punti significativi collocati in aree che, per motivi di ripresa, non possono essere coperte dalle coppie di fotogrammi: il rilievo diretto è comunque sempre previsto ad integrazione del rilievo fotogrammetrico, sia pure limitatamente a casi particolari.

Generalmente la fase di campagna può essere suddivisa in due momenti: il primo nel quale vengono realizzate le prese fotografiche, e il secondo nel quale si rilevano i punti di riferimento, avendo a disposizione le coppie di fotogrammi realizzati e potendo quindi verificare con facilità se in questi sono chiaramente visibili i punti di riferimento.

FASE DI ORIENTAMENTO

Terminata la fase di campagna si procede all'orientamento delle coppie di fotogrammi realizzati, facendo uso del rilievo topografico di appoggio, (coordinate dei punti di riferimento), e dei valori di orientamento interno forniti nel certificato di calibrazione della fotocamera. Tale orientamento si realizza secondo le indicazioni teoriche descritte nei paragrafi precedenti, ed a livello pratico, in funzione del sistema di restituzione adottato.

Ipotizzando di utilizzare uno stereorestitutore digitale, (sistema informatico), è necessario nel software che gestisce la stereorestituzione:

- inserire i dati di calibrazione della fotocamera e in modalità monoscopica (una immagine per volta), ritrovare il punto principale, grazie alle marche fiduciarie e determinare così l'orientamento interno.
- collimare i punti omologhi sulla coppia di immagini digitali per realizzare l'orientamento relativo e determinare così lo stereomodello.
- attribuire ai punti immagine prescelti come punti di controllo le coordinate rilevate, compiendo così l'orientamento assoluto, (roto-scalo-traslazione dello stereomodello), e determinando contemporaneamente

la posizione e direzione di ripresa, ovvero i parametri di orientamento esterno.

Altre procedure o sequenze sono comunque possibili in dipendenza del funzionamento del software, ed in mancanza di qualche dato o parametro la cui determinazione può avvenire attraverso metodologie differenti o indirette. Quando questa fase è compiuta, è possibile osservare a video e con occhiali speciali, lo stereomodello o modello virtuale tridimensionale dell'oggetto ripreso, (o della porzione ripresa).

FASE DI RESTITUZIONE

La fase di restituzione, ovvero di rappresentazione dell'oggetto del rilievo, è quella in cui l'operatore, attraverso lo strumento di stereorestituzione, visualizza il modello virtuale 3d, e lo rappresenta descrivendo le linee e gli elementi più significativi. Si tratta, in altre parole, di una operazione di disegno nella quale vengono "ricalcati" i tratti più significativi dell'architettura, ovvero quelli che discretizzano il continuo della realtà fotografica ripresa.
È una fase importante in cui l'operatore introduce una componente "interpretativa" nell'operazione del rilievo, pur muovendosi e collimando sulla base di una visione fotografica obbiettiva.
Se l'operazione è condotta in modalità digitale, il risultato sarà comunque un disegno numerico di tipo vettoriale, tridimensionale, e georeferenziato, (ovvero orientato nello spazio coerentemente al rilievo topografico di appoggio). Si abbandona dunque le fotografie e il modello da esse generato per ottenere un disegno tridimensionale che può anche essere arricchito in fasi successive, attraverso altre osservazioni e tematizzazioni dello stereomodello, e che può essere ampliato tramite l'impiego di altre stereo-coppie appoggiate al medesimo rilievo topografico.
L'operatore, nella pratica, realizza il disegno collimando un singolo punto alla volta sul modello 3d che visualizza a video con occhiali speciali. Per collimare il punto è necessario che l'operatore sposti un puntatore nelle spazio fino a quando non percepisce, (grazie anche ad una notevole esperienza operativa), di essere in corrispondenza del punto desiderato.
Il disegno 3d che viene ottenuto inizialmente viene detto "minuta di restituzione", esso appare spesso slegato e poco architettonico per le numerose discontinuità ed irregolarità. Solo successivamente viene stabilita la vista che si vuole produrre ed un ulteriore lavoro di rappresentazione permette, sulla base degli elementi vettoriali presenti e sempre in ambiente digitale, di realizzare una vera e propria proiezione ortogonale secondo le consuete convenzioni della rappresentazione dell'architettura.
La procedura sopra descritta, pur condotta in ambiente digitale, è tutt'altro che automatica, è comunque soggetta ad una componente interpretativa dell'operatore, è spesso lunga e richiede operatori di notevole esperienza in grado di percepire la stereoscopia e di poter operare tutti gli orientamenti necessari per le numerose stereo-coppie che coprono la superficie di interesse. Tuttavia è sempre possibile, anche in tempi successivi, ricavare nuove informazioni o verifiche dal rilievo fotogrammetrico eseguito, essendo questo una registrazione ed un documento obbiettivo e permanente dell'architettura rilevata.

INTEGRAZIONE DELLE LACUNE

Qualora vi siano particolari o porzioni che siano rimasti nascosti alle prese fotogrammetriche, questi solitamente non vengono rappresentati, a garanzia di una maggiore scientificità ed obbiettività del rilievo. Tuttavia, quando queste informazioni possono essere reperite tramite il rilievo diretto avviene, sulla rappresentazione grafica, l'integrazione delle lacune. Il rilievo tradizionale, dunque, può essere impiegato per documentare certe aree rimaste indeterminate.

RIEPILOGO

Sinteticamente il rilievo fotogrammetrico può essere così riepilogato:
"La metodologia fotogrammetrica si realizza essenzialmente in due fasi operative concatenate: la realizzazione delle prospettive centrali, o presa fotografica, degli oggetti interessati, e la loro successiva restituzione metrica.
Dato un oggetto da documentare, si procede innanzitutto all'acquisizione delle relative immagini fotografiche stereoscopiche, avendo cura di determinare la posizione spaziale dei diversi punti di vista, o di presa, insieme alla direzione dell'asse ottico di ciascuna presa fotografica.
Realizzate le necessarie prese fotografiche e misurati i vari dati metrici di controllo, si provvede alla ricostruzione in uno spazio e ad una scala opportunamente ridotti, delle posizioni e delle direzioni corrispondenti a ciascuna presa, e si opera per la formazione del relativo modello stereoscopico virtuale.
Ottenuto questo modello, o immagine plastica, se ne effettua la restituzione, per ricavare delle rappresentazioni grafiche o numeriche dell'oggetto interessato."

- M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

1.10 CONCLUSIONI ED ESEMPI

Il rilievo, nonostante l'ausilio di uno strumento obbiettivo come la fotografia, rimane sempre una operazione critica ed interpretativa: parte dal mezzo fotografico per registrare il maggior numero di informazioni possibile ma richiede la rappresentazione grafica che dal continuo dell'immagine discretizzi gli elementi notevoli e significativi dell'architettura. Al fine di sottolineare questo concetto e per meglio comprendere le finalità, gli ambiti di applicazione, le potenzialità della fotogrammetria, e come essa sia strettamente legata ai beni culturali si riporta qui di seguito un testo che sottolinea questi aspetti in maniera efficace mostrando contestualmente dei rilievi in scala ridotta eseguiti con il metodo fotogrammetrico.
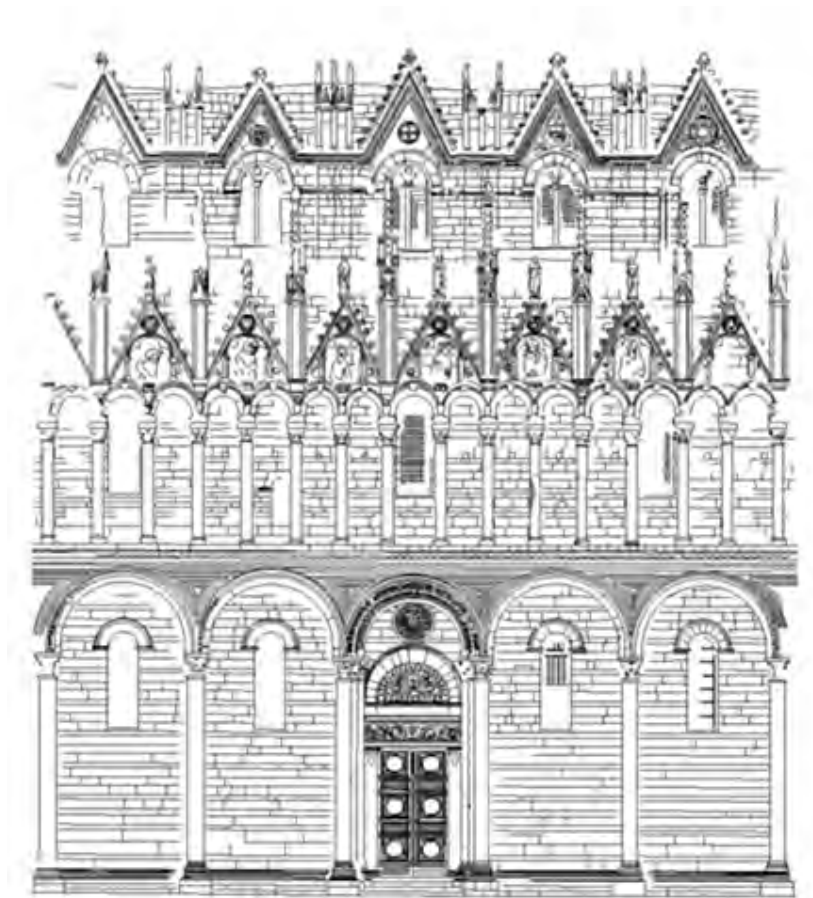
fig.01 – Pisa - il Battistero - minuta di restituzione di un rilievo fotogrammetrico stereoscopico

"Fine essenziale del rilevamento architettonico risulta quello della interpretazione e della rappresentazione delle forme e delle dimensioni delle architetture. Tale rappresentazione va realizzata sempre mediante piani, alzati e sezioni, ed è suscettibile di mettere in evidenza rapporti proporzionali degli elementi strutturali costituenti le architetture medesime, sia lo sviluppo delle differenti superfici che le delimitano, sia le relative volumetrie, insieme alla descrizione dei materiali e di tutte le deformazioni prodottesi in fase costruttiva e prosieguo del tempo. Si tratta di documenti indispensabili per definire lo stato di consistenza e di conservazione delle architetture stesse, con la definizione delle loro vicissitudini storiche dall'epoca della relativa edificazione a quella del rilevamento.

Il rilevamento architettonico deve infatti consentire di analizzare le varie strutture architettoniche nella loro essenziale funzione portante o decorativa, di studiare le tecniche costruttive impiegate, la cronologia della loro edificazione, le eventuali evoluzioni stilistiche subite, la geometria delle differenti forme e il corrispondente proporzionamento dimensionale.

Tale rilevamento deve altresì permettere di sorvegliare e anche quantizzare le deformazioni in atto e gli eventuali movimenti strutturali, per prevenire i rischi di ulteriori degradi e di eventuali distruzioni per cause di carattere statico od ambientale.
Il rilevamento si rende infine necessario per la memorizzazione delle architetture stesse, in quanto opere deperibili, per assicurarne il restauro conservativo o la parziale e totale ricostruzione, in caso di distruzioni per eventi bellici o calamità naturali.
Il rilevamento architettonico si realizza sempre mediante due fasi operative distinte e concatenate che comportano, nell'ordine, l'acquisizione dei dati direttamente o indirettamente misurati sulle diverse strutture interessate, e la successiva restituzione per ricavarne le descrizioni grafiche e numeriche richieste. Tale rilevamento può essere sviluppato sia col metodo classico o manuale, sia col metodo fotogrammetrico, o con la integrazione dei due metodi.
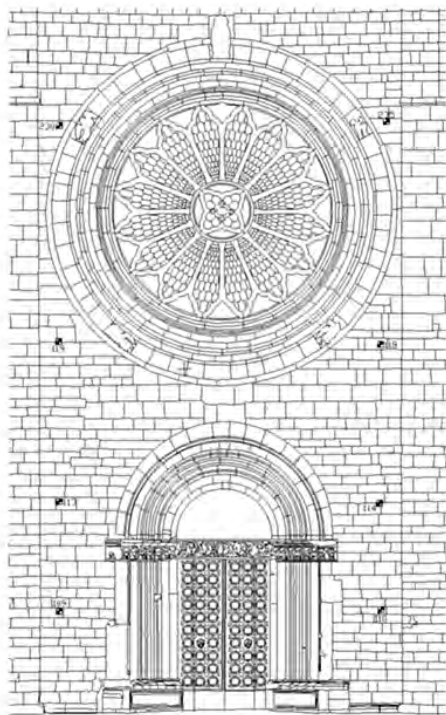
fig.02 – Particolare della facciata del Duomo di Trento – Università di Genova in coll. con GALILEO SISCAM

L'applicazione del metodo classico comporta l'impiego di longimetri e di semplici strumenti di misura angolare o di pendenze. Esso consiste nel rilevamento di un numero finito di punti caratteristici, utili per la successiva interpolazione di linee o delimitazioni di carattere strutturale.
I tempi indispensabili per il rilevamento in loco sono essenzialmente funzione del numero dei punti discreti da considerare, che deriva soprattutto dalle ipotesi avanzate sulla regolarità delle differenti linee rette o curve

architettoniche, e dalla selezione degli elementi strutturali inizialmente prescelta per la rappresentazione.

In effetti, la metodologia classica di rilevamento architettonico si sviluppa a partire da un modello ideale della struttura considerata, che sovrintende al processo di misura; la selezione dei punti caratteristici risulta tanto più facile quanto più semplice è la conformazione dell'oggetto da rilevare, tanto meno facile quanto più complessa essa appare. In quest'ultimo caso, e nelle parti più difficilmente accessibili, come la curvatura delle volte, le misure risultano giocoforza tutte molto imprecise.

fig.03 - Modello 3d per isolinee di una statua: il rilievo è stato eseguito tramite stereo-fotogrammetria. Statua dell'Ammannati – COOPLAT in coll. con GALILEO SISCAM

La restituzione grafica si effettua quindi per interpolazione tra i punti discreti e gli elementi geometrici prescelti, sviluppandosi soprattutto sulla base della memoria dell'operatore, per cui la restituzione deve immediatamente seguire sempre le operazioni di misura sui manufatti rilevati. i risultati ottenuti col metodo classico risultano pertanto molto soggettivi ed in gran parte lacunosi.

L'applicazione della metodologia fotogrammetrica, nel rilevamento delle architetture, comporta invece la realizzazione di un insieme finito di fotogrammi, ottenuti da una camera metrica, e di alcune misure indispensabili alla successiva restituzione dell'insieme.
Questa metodologia costituisce uno degli strumenti più efficienti per il rilevamento architettonico, poiché prescinde da ogni schema preliminare e consente di operare in maniera sicura ed immediata, senza pregiudicare in alcun modo lo stato di conservazione delle opere esaminate, riducendo al minimo indispensabile le misure su di esse.

L'applicazione di questa metodologia permette poi di ricavare delle informazioni del tutto obiettive sui diversi elementi strutturali architettonici considerati, indipendenti da ipotesi precostituite sulle forme geometriche degli stessi e sulla giacitura spaziale che ciascuno sembra presentare.
Gli elaborati grafici e numerici forniti dalla metodologia fotogrammetrica presentano quindi un valore documentario prezioso ed inestimabile nello studio e nella salvaguardia dei monumenti architettonici, ove l'esperienza finora raccolta consiglia sempre di diffidare dei tradizionali concetti di verticalità, di orizzontalità, di parallelismo e di simmetria delle linee e delle forme geometriche, concetti sui quali riposano sovente le ricostruzioni grafiche delle rappresentazioni architettoniche.
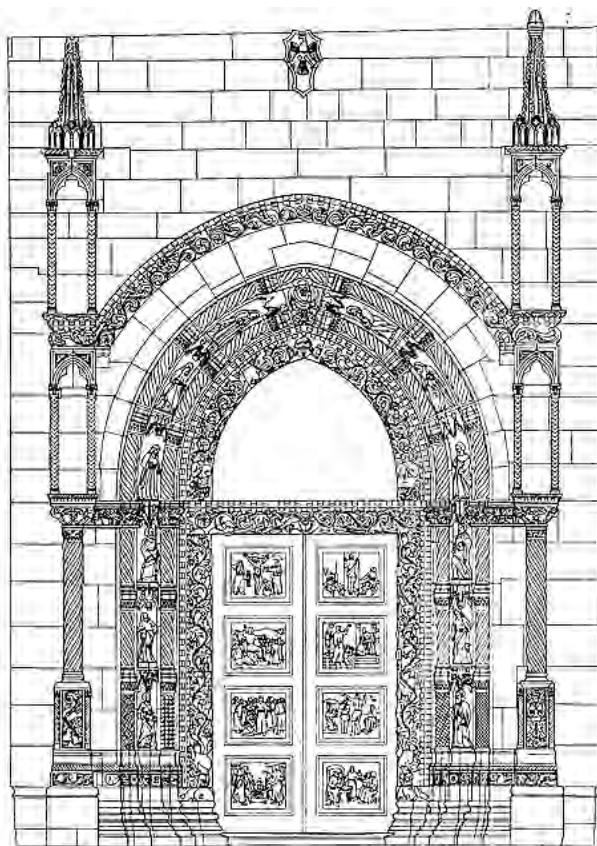
fig.04 - Portale principale del Duomo di St. Jakob in Sebenico. Riduzione del rilevamento alla scala originale di 1:10 (Geodetski Fakultet Sveucilista u Zagrebu).

Il contributo offerto da questa metodologia si segnala, in questo settore, proprio nell'individuazione e nella determinazione delle più piccole anomalie e discrepanze, molto frequenti nelle antiche strutture architettoniche, e nel rilevamento dettagliato ed analitico dei cedimenti, di fratture, di deformazioni e dissesti vari. " tratto da: M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza
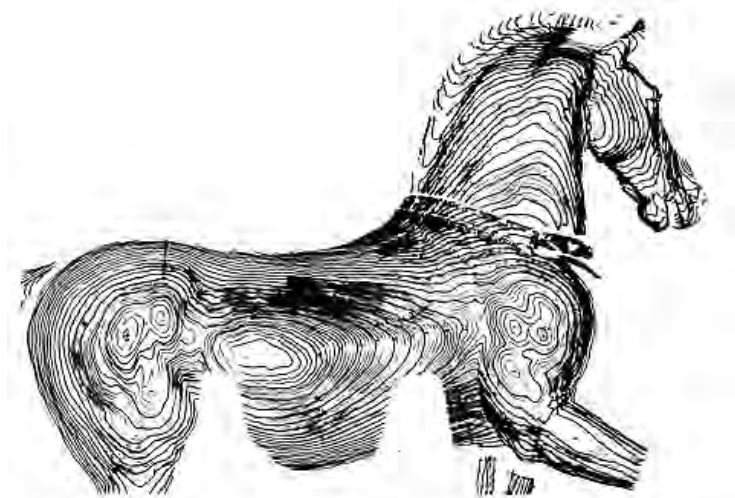
fig.05 - Porzione della restituzione fotogrammetrica del "Cavallo A" della basilica di San Marco in Venezia

1.11 APPROFONDIMENTO: LA FOTOGRAMMETRIA CON IL METODO GRAFICO

Questo testo non sarebbe completo se non vi fosse menzione di uno dei metodi più importanti di applicazione della fotogrammetria: il metodo grafico attraverso la geometria descrittiva. La trattazione di questo metodo è stata volutamente inserita al termine della presentazione anche se, di fatto, è sicuramente quello nato prima di ogni sviluppo tecnologico, e senza la comprensione del quale nessun progresso nel settore sarebbe mai stato possibile.
Il metodo grafico è notevolmente versatile ed offre numerosi procedimenti alternativi per risolvere le diverse problematiche inerenti le misurazioni attraverso le immagini fotografiche.
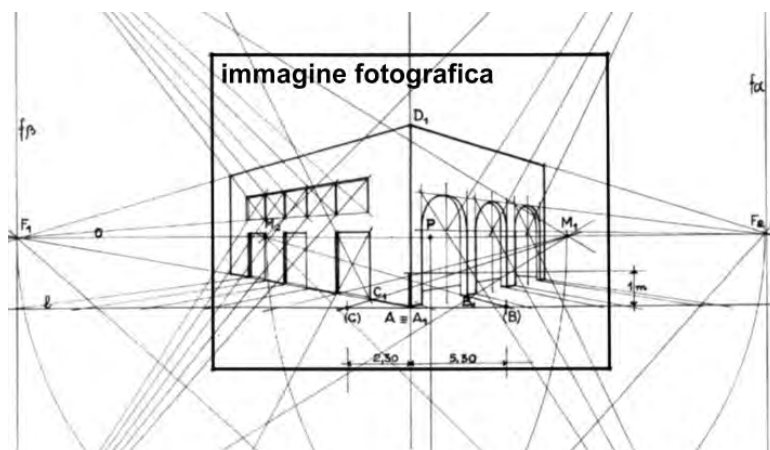
fig.01 - fotogrammetria con il metodo grafico: porzione di elaborato grafico - tratto da U.Saccardi -Appl. d. Geom. Descr. - LEF

Esso, si basa sul fatto che l'immagine fotografica è assimilabile ad una proiezione centrale e come tale deve essere trattata per poterne estrapolare informazioni metriche: ovvero determinando quali siano gli elementi notevoli che definiscono la proiezione medesima.
Allo stesso modo in cui, in geometria descrittiva, si costruisce una prospettiva, (=proiezione centrale), partendo dalle proiezioni ortogonali, è

possibile, procedendo in maniera "inversa", da una prospettiva, (=fotografia), operare con costruzioni geometriche per il ritrovamento delle proiezioni ortogonali degli oggetti ivi rappresentati e quindi delle vere dimensioni degli stessi.

In generale il metodo grafico consente di eseguire le medesime applicazioni di fotogrammetria architettonica fin qui descritte, potendo determinare le proiezioni ortogonali di elementi ripresi da due o più immagini fotografiche con l'ausilio di punti di appoggio o di riferimento. Tuttavia il metodo grafico trova più frequente ed interessante impiego nell'ambito di elaborazioni che fanno uso di una sola immagine fotografica e che integrano i dati mancanti con maggiori rilievi in loco.

È bene evidenziare che, nel caso si operi con un solo fotogramma, il metodo grafico si può anche avvalere di considerazioni critiche che formula l'operatore valutando dati di campagna ed eventuali ipotesi di lavoro come: parallelismi, allineamenti, orizzontalità e verticalità di membrature, appartenenza a piani e simili, sfruttando moltissimo gli elementi geometrici di riferimento che possono essere presenti nell'architettura da rilevare. La precisione dell'intero processo è vincolata all'attendibilità di dette valutazioni (e/o rilievi), che, tuttavia, sono quelle che consentono maggiore versatilità al metodo e danno anche la possibilità di indagare casi limite.

Una volta determinati gli elementi notevoli che definiscono in maniera univoca la proiezione centrale è possibile operare sui singoli piani tramite, proiezioni e sezioni al fine di determinare le vere dimensioni e le proiezioni ortogonali degli oggetti di interesse.

Per una trattazione dell'argomento si rimanda al seguente riferimento bibliografico: R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. II (pp.224 e segg.) - Maggioli editore. Si elencano qui di seguito comunque gli elementi fondamentali che vengono ricercati ed individuati con il metodo grafico (elenco tratto dalla fonte citata):

- fuga dei piani orizzontali
- rette di fuga dei piani verticali
- punto principale e distanza PV rappresentata dal cerchio fondamentale
- angoli fra i piani presenti nel fotogramma
- angolo determinato da rette non orizzontali con il piano orizzontale
- rette delle tracce dei piani presenti nel fotogramma
- ribaltamento dei vari piani individuati
- vere grandezze degli elementi che costituiscono l'oggetto preso in considerazione

Le procedure per raggiungere questi obbiettivi sono molteplici e sono funzione del tipo di proiezione sulla quale operiamo, (prospettiva a piano verticale o inclinato), nonché dei riferimenti che offre l'oggetto fotografato.
Per avere un esempio applicativo semplificato si veda: M.Docci, D.Maestri - Manuale di rilevamento architettonico e urbano - Ed. Laterza (pp.252 -254).

È bene sottolineare che anche con il metodo grafico non vengono meno i princìpi generali della fotogrammetria come illustrati nei precedenti paragrafi, pertanto, per ottenere delle misurazioni dello spazio, (misure tridimensionali o coordinate 3d), sono sempre necessarie coppie di foto stereoscopiche, diversamente si deve sopperire con altri dati rilevati sul soggetto.

Possiamo infine affermare che, ricavare informazioni metriche bidimensionali in modalità monoscopica, (con l'utilizzo di un solo fotogramma), è una

procedura comunque possibile, ed è anche una applicazione di grande interesse soprattutto nel digitale: la trattazione di questo aspetto verrà ampiamente analizzata ed esposta nel capitolo seguente.

1.12 BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA

Non vi è vasta bibliografia che tratti gli argomenti illustrati in maniera semplificata e mirata alle applicazioni architettoniche. Esistono tuttavia molti testi di approfondimento con impostazione scientifica e rigorosa che trattano ampiamente la disciplina della fotogrammetria.

- M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza
- G. Fangi - Univ. di Ancona - note di fotogrammetria - clua ed. Ancona
- M.Docci, D.Maestri - Manuale di rilevamento architettonico e urbano - Ed. Laterza
- ISPRS: Historical Developments of Photogrammetric Methods and Instruments - T.Blanchut
- U.Saccardi - Applicazioni della Geometria Descrittiva - LEF
- R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. I e II - Maggioli editore
- Ezio Viti - "Appunti di Fotogrammetria" – Galileo Siscam
- F.Flamigni - "Fotogrammetria digitale" – Galileo Siscam
- AAVV - Lavori di fotogrammetria architettonica - Ed. Dei Roma

2. APPLICAZIONI DELLA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE

Dal momento che con il termine fotogrammetria è possibile genericamente intendere qualsivoglia processo che da fotografie trae informazioni metriche, è lecito definire "fotogrammetriche" anche una serie di applicazioni, che pur sostanzialmente differenti dalla fotogrammetria classica, hanno questo fine ultimo. Tuttavia è bene sottolineare che queste applicazioni sono state considerate, fino ad oggi, di minor importanza e sicuramente accessorie rispetto alla disciplina originaria, tanto da meritare la definizione di "applicazioni varie della fotogrammetria" o di "fotogrammetria non convenzionale".
Ma è nuovamente grazie all'avvento del digitale che queste applicazioni trovano sempre più valore e dignità scientifica, e sempre più spesso vengono proposte nuove metodologie operative e strumenti, (anche se fondate su medesimi princìpi teorici), per il rilevamento architettonico.

2.1 FOTOPIANI DIGITALI

Una delle applicazioni "non convenzionali" della fotogrammetria che ha recentemente conosciuto un notevole sviluppo è quella dei fotopiani e dei fotomosaici.
Si tratta di un processo, che pur non offrendo lo stesso livello di precisione della fotogrammetria classica e nonostante i notevoli limiti applicativi, risulta spesso insostituibile nella documentazione del costruito architettonico, specialmente nel settore beni culturali. Diviene talvolta anche uno strumento progettuale e di programmazione degli interventi.

2.2 DEFINIZIONE E TERMINOLOGIA

Data una presa fotografica, (ovvero una proiezione centrale), dove sia ripreso e facilmente individuabile un elemento piano, è possibile operare una trasformazione, (detta impropriamente anche "raddrizzamento"), che porti questo piano dalla sua configurazione prospettica in proiezione ortogonale. L'immagine fotografica così trasformata mantiene quasi inalterate le sue caratteristiche qualitative, la sua densità di informazioni e può essere riprodotta in scala come fosse una rappresentazione grafica architettonica del piano medesimo.
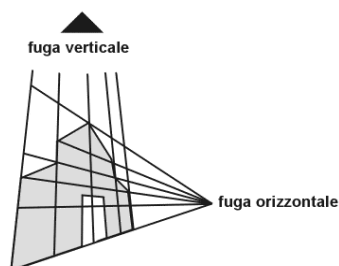
fig.01 - presa fotografica di un prospetto di una costruzione: schema

In altre parole, da una immagine fotografica che rappresenti, ad esempio, la facciata esterna di un edificio in proiezione centrale, è possibile ottenere, con una speciale trasformazione, una immagine dove il piano di questa facciata appare in prospetto. Tale processo viene definito con svariate terminologie:

- raddrizzamento di prese inclinate;
- restituzione fotogrammetrica con applicazione dell'omografia;
- trasformazione omografica;
- raddrizzamento fotogrammetrico;
- ortogonalizzazione;
- trasformazione prospettica.

Dal punto di vista geometrico si illustra la trasformazione in maniera semplificata: data una figura piana con reticolato ortogonale di riferimento, (vedi fig. seguente), questa assume generalmente nella proiezione centrale (= presa fotografica) una conformazione dove le rette parallele hanno direzione convergente verso fughe orizzontali e verticali. Nel procedimento di "raddrizzamento" l'immagine fotografica può essere trasformata ripristinando la corretta geometria della figura ripresa ed annullando, relativamente a quel piano, gli effetti della proiezione centrale che, oltretutto, impediscono una misura ed un proporzionamento immediato del soggetto.
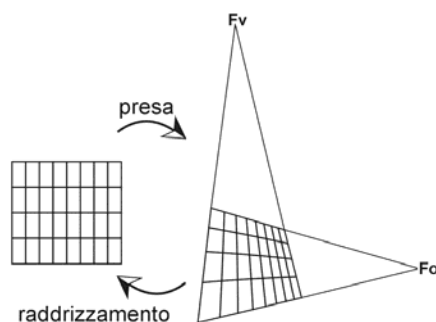
fig.02 - schema che illustra graficamente la procedura della presa fotografica e del raddrizzamento.

2.3 FONDAMENTI TEORICI

La trasformazione che sta alla base di questo processo, e che impropriamente viene detta raddrizzamento, in realtà è definita in geometria descrittiva come "restituzione fotogrammetrica con applicazione dell'omografia".

L'omografia è una trasformazione fra due spazi piani ed è governata da otto parametri. Nel caso specifico i due spazi piani sono rappresentati rispettivamente dal piano ripreso in fotografia e dalla sua immagine trasformata in proiezioni ortogonali, mentre gli otto parametri sono le coordinate bidimensionali X,Y di 4 punti opportunamente scelti e tali che non ve ne siano tre allineati.

"Due piani risultano essere omografici quando agli elementi geometrici dell'uno corrispondono quelli dell'altro e più in particolare quando ad ogni punto ed ad ogni retta dell'uno corrispondono un punto ed una retta dell'altro e se esiste l'appartenenza fra il punto e la retta dell'uno corrisponde

l'appartenenza tra il punto e la retta dell'altro. Tra i due piani si viene a determinare una corrispondenza biunivoca che si definisce omografia.
La corrispondenza biunivoca che si stabilisce fra i due piani è resa possibile con l'applicazione delle operazioni di proiezione e sezione e risulta essere una proiettività fra piani in quanto si determina il passaggio dall'uno all'altro attraverso un numero finito di proiezioni e sezioni. Se le rette congiungenti i punti corrispondenti dei due piani convergono nel medesimo punto l'omografia che si determina prende il nome di prospettività fra piani e questi si definiscono prospettivi."
Tratto da: R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. II p.269 - Maggioli editore
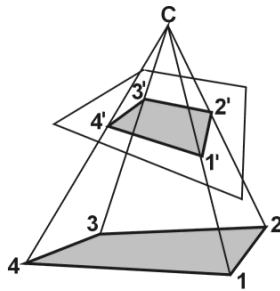
fig.01 - schema che illustra graficamente una trasformazione omografia

È fondamentale evidenziare come questo particolare processo fotogrammetrico sia applicabile esclusivamente in modalità monoscopica, (su singole immagini fotografiche), a differenza di quanto avviene nella fotogrammetria classica dove si opera in stereoscopia, (su coppie di immagini fotografiche). Del resto è bene osservare che la trasformazione omografica è piana ed è finalizzata alla sola determinazione di misurazioni bidimensionali di elementi appartenenti al piano trasformato, mentre in fotogrammetria classica è possibile determinare, grazie alla doppia collimazione, la posizione spaziale, (coordinate 3D), di un qualsiasi punto presente nella coppia di immagini stereoscopiche, secondo quanto illustrato nel capitolo precedente.

Per eseguire il "raddrizzamento" di una determinata immagine, qualunque sia il procedimento che viene seguito, (vi sono vari metodi), è necessaria la conoscenza degli otto parametri che definiscono la relazione omografica fra il piano dell'immagine fotografica originaria e quello dell'immagine raddrizzata. La loro determinazione richiede la conoscenza delle due coordinate X ed Y di almeno quattro punti dell'oggetto in questione, opportunamente dislocati sull'immagine da raddrizzare, espresse nel sistema di riferimento oggetto ed individuabili nel sistema di riferimento immagine.

2.4 SVILUPPO E METODI

Questa operazione di trasformazione delle immagini fotografiche, finalizzata all'ottenimento di fotopiani digitali può essere realizzata secondo tre metodologie:

- con costruzioni grafiche (applicazioni della geometria descrittiva);
- con strumentazione ottico-meccanica (raddrizzatori);
- per via analitica operando su immagini digitali.

2.4.1 IL METODO GRAFICO

Il metodo grafico di restituzione fotogrammetrica con applicazione dell'omografia permette, con costruzioni geometriche più spedite di prescindere dall'individuazione dei punti di fuga della proiezione centrale individuata dal fotogramma e di operare direttamente ed unicamente sul piano ripreso e sui punti noti rilevati sullo stesso.

"La determinazione delle proiezioni centrali di un oggetto architettonico da una fotografia con applicazione del processo inverso della prospettiva risulta essere un'omografia e cioè si viene a stabilire una corrispondenza biunivoca tra i piani sovrapposti che sono rappresentati dal fotogramma e dal foglio da disegno su cui si individuano le proiezioni ortogonali dell'oggetto preso in considerazione.
A ciascun punto e a ciascuna retta del piano omografico del fotogramma corrispondono un punto ed una retta del piano omografico scelto per la restituzione che è rappresentato dal foglio da disegno e su cui si determinano le proiezioni ortogonali dell'oggetto architettonico preso in considerazione."
Tratto da: R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. II p.269 - Maggioli editore

Per una trattazione del metodo grafico si rimanda alla bibliografia citata (pp.269 e seguenti).

Il metodo grafico ha il vantaggio di non richiedere attrezzature sofisticate se non una buona macchina fotografica ed un ingrandimento dell'immagine su cui si intende operare, (o una stampa a contatto in casi di formati medio-grandi).
Fra gli svantaggi di questo sistema vi sono: una precisione inferiore rispetto agli altri metodi, un discreto tempo di elaborazione, e soprattutto il risultato finale è di fatto solo e solamente una rappresentazione grafica filtrata dall'interpretazione dell'operatore e non una immagine nel continuo. Pertanto l'enorme quantità di informazioni dell'immagine fotografica originaria non viene trasformata.

2.4.2 IL METODO OTTICO-MECCANICO

Il metodo ottico-meccanico è basato sull'utilizzo di uno speciale strumento detto raddrizzatore, che avendo otto sistemi di regolazione e movimentazione, (tanti quanti sono i parametri che governano l'omografia), è in grado di trasformare l'immagine fotografica, (o meglio la pellicola), in una fotografia "corretta" o "raddrizzata", dove il piano prescelto per la trasformazione appare non più affetto da convergenze prospettiche.

Il raddrizzatore è una specie di "proiettore" che però riesce a correggere la proiezione tramite un apparato ottico meccanico, e quindi a riprodurre una nuova immagine fotografica.
Per mezzo del raddrizzatore la fotografia originale, (generalmente una pellicola negativa), viene proiettata su un piano di proiezione inclinabile in ogni direzione. Va notato però che, proiettando la fotografia su un piano non parallelo al piano su cui giace la fotografia stessa e posto a distanza finita dall'obbiettivo di proiezione, otterremo una immagine non perfettamente a fuoco in ogni sua parte.
Affinché l'immagine proiettata si mantenga a fuoco in tutta la sua estensione, qualunque sia l'inclinazione del piano di proiezione, occorre che nell'apparecchio di proiezione sia realizzata la condizione detta di

"scheimpflug", secondo la quale i piani su cui giacciono il negativo, il piano principale dell'obbiettivo e l'immagine proiettata si devono intersecare fra loro lungo un'unica linea come schematizzato nella figura seguente.
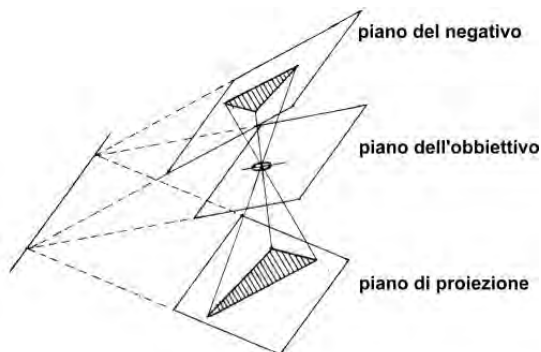
fig.01 - schematizzazione della condizione di SCHEIMPFLUG

Tutti gli apparecchi di raddrizzamento sono quindi dotati di dispositivi, (denominati inversori), mediante i quali questa condizione viene realizzata.
Per eseguire l'operazione di raddrizzamento è indispensabile conoscere la posizione di alcuni punti dell'oggetto fotografato, (almeno quattro). Inclinando opportunamente il piano di proiezione l'immagine proiettata viene deformata in modo da adattarla perfettamente sui punti noti, la cui posizione sarà stata preventivamente riportata sullo stesso piano di proiezione, alla scala desiderata. L'operazione di adattamento dell'immagine sui punti noti può essere eseguita per tentativi oppure, in alcuni strumenti, per via di calcolo.
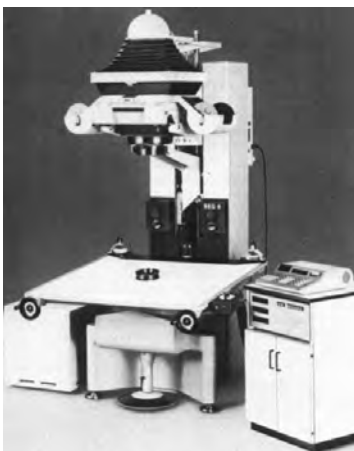
fig.02 - raddrizzatore Zeiss mod.SEG6, con regolazione automatica dei punti di fuga.

I vantaggi di questo metodo sono quelli di ottenere una immagine fotografica come risultato finale, che può essere stampata in scala e può essere ricalcata graficamente per trarne le informazioni di interesse. Fra gli svantaggi di questo metodo vi è quello di dover impiegare attrezzature notevoli e di dover fare la trasformazione con sistemi di regolazione meccanica e manuale che comportano una lieve perdita di precisione; inoltre questo metodo non consente di costruire fotomosaici di porzioni adiacenti di uno stesso piano, o almeno tale operazione è possibile con esecuzione di "collage" che inficia notevolmente la qualità ed attendibilità del risultato finale, (in passato questo veniva nuovamente riprodotto fotograficamente per garantire omogeneità di supporto).

Nonostante i menzionati svantaggi, il metodo ottico-meccanico è in grado di offrire un prodotto di qualità eccellente.

2.4.3 IL METODO ANALITICO CON IMMAGINI DIGITALI

Il metodo analitico con immagini digitali, (principale oggetto di questa trattazione cui si farà riferimento in tutti i paragrafi seguenti), si basa sulla formulazione matematica della trasformazione omografica con algoritmi derivanti dalle regole della geometria analitica dello spazio. È possibile, pertanto, applicare detti algoritmi ad ogni elemento di una matrice di punti costituente l'immagine numerica in formato raster che si vuole trasformare, ed ottenere così una nuova immagine, sempre digitale adatta per ogni successiva elaborazione.
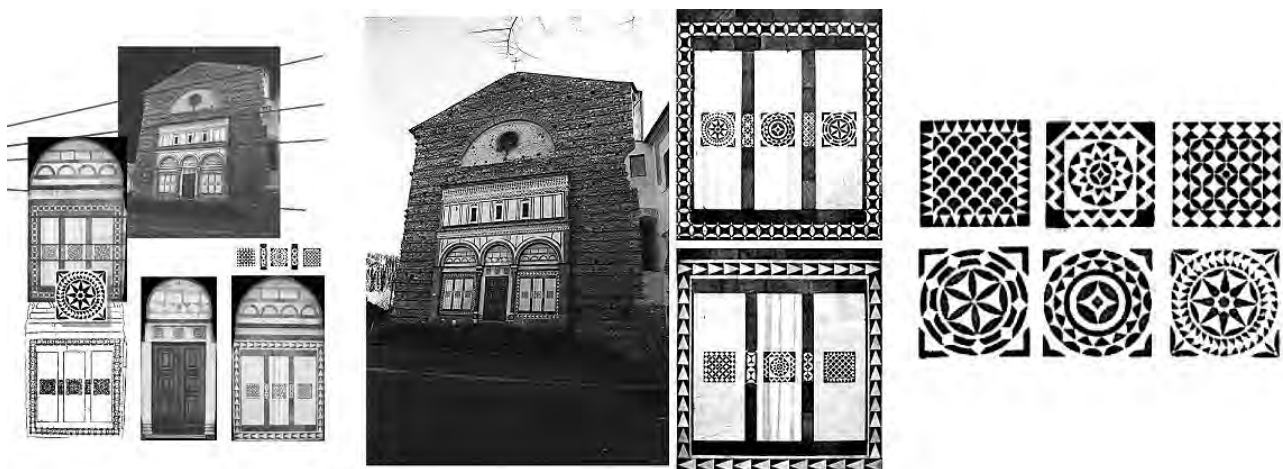
fig.01 - fotopiani digitali - Badia Fiesolana - Fiesole - Firenze

In breve il metodo segue le seguenti fasi operative:
Si realizza una campagna di rilievo in cui si acquisiscono le prese fotografiche e si rilevano dei punti di riferimento. L'immagine fotografica che rappresenta il piano da ortogonalizzare viene poi digitalizzata a mezzo di scanner e successivamente, grazie a software specifici, è possibile inserire i parametri di trasformazione, derivanti dalla posizione dei punti rilevati, ed operare la trasformazione stessa.

Tra i vantaggi di questo sistema vi è indubbiamente la possibilità di realizzare l'intero processo con un'attrezzatura limitata, (anche se naturalmente la precisione dipende dalla qualità degli strumenti impiegati), di avere un risultato digitale che consente ulteriori elaborazioni: fra le quali il fotomosaico a controllo numerico, il fotoritocco e la vettorializzazione in ambiente CAD degli elementi discretizzanti l'architettura raffigurata.
Tra gli svantaggi di questo metodo si ha che, nonostante tutto, per ottenere delle buone precisioni sia necessaria una notevole esperienza, una attrezzatura professionale per l'acquisizione di immagini e dati e un software dedicato a questa specifica applicazione.

Esistono anche altri metodi di trasformazione, o raddrizzamento delle immagini digitali che si servono di software generici per il ritocco fotografico, ma naturalmente i risultati che si ottengono sono assolutamente empirici e sono soggetti ad errori grossolani. Verrà comunque trattato l'argomento in un apposito paragrafo.

2.5 AMBITO E LIMITI DI APPLICAZIONE

Eseguire i rilievi per mezzo di sistemi fotogrammetrici, ed in particolare attraverso la realizzazione di fotopiani, non è sempre conveniente né tantomeno appropriato dal punto di vista scientifico. Pertanto risulta essenziale capire quali siano i reali ambiti di applicazione di questo metodo operativo anche perché numerose sono le condizioni che ne limitano drasticamente l'impiego.
Inoltre è bene sottolineare che, per chi non ha esperienza, e si trovi alla prima applicazione, sia estremamente impegnativo realizzare un rilievo con questo metodo. È assolutamente sconsigliato ricorrere occasionalmente a questa metodologia qualora l'obbiettivo sia solo quello di minimizzare i tempi operativi: l'idea comunemente diffusa per la quale si esegue una campagna fotografica invece di un rilievo vero e proprio deve essere considerata errata.

CONDIZIONE DI VISIBILITÀ
La realizzazione di un fotopiano è praticabile, (sembra banale evidenziarlo ma è importante), quando è possibile realizzare delle immagini fotografiche della porzione di piano che si intende rilevare, o comunque quando queste immagini siano già disponibili.
Se la porzione da indagare è coperta da strutture, ponteggi, vegetazione o altre costruzioni, o comunque non sia possibile eseguire fotografie di una certa qualità il sistema non è applicabile.

CONDIZIONE DI ACCESSIBILITÀ
Per ottenere dei fotopiani attendibili è comunque necessario rilevare dei punti significativi appartenenti al piano che si vuole rappresentare. Pertanto qualora non sia possibile un minimo di accessibilità all'architettura da rilevare, e qualora non sia nemmeno possibile, (per mancanza di strumentazione), eseguire un rilievo topografico dei punti notevoli di riferimento necessari, il sistema non è applicabile.
Esiste tuttavia un metodo che consente di operare facendo numerose ipotesi inerenti la geometria dell'oggetto che si vuole rilevare ottenendo così dei risultati che comunque non possono avere una attendibilità metrica, ma che, per particolari applicazioni, potrebbero essere comunque d'uso.

CONDIZIONE DI PLANARITÀ
La realizzazione dei fotopiani è applicabile in architettura quando vi siano delle superfici da documentare che siano piane o assimilabili a tali, poiché, come abbiamo già accennato, la trasformazione omografica è solo e solamente una trasformazione tra piani. Non è possibile applicare questo metodo in casi di edifici, torri o bastioni la cui conformazione sia curva o dove vi siano avancorpi e terrazzamenti che occludono gran parte del prospetto. Non è spesso possibile produrre un fotopiano di facciate densamente decorate con elementi architettonici in rilievo come portali gotici, decorazioni barocche e pinnacoli in genere.
È altresì evidente che in architettura non esista un prospetto perfettamente piano e che vi siano anzi frequentemente aggetti e rientranze come cornici marcapiano ed imbotti, tuttavia, se questi elementi non nascondono in maniera significativa il prospetto possono essere ignorati procedendo alla trasformazione geometrica del piano della facciata, e nella consapevolezza che quegli elementi risulteranno nell'immagine raddrizzata assolutamente deformati e geometricamente non corretti sia in posizione che in dimensione.

CONDIZIONE DI IMPORTANZA
È evidente, ma è sempre bene evidenziarlo, che la produzione di un fotopiano è giustificabile se il piano che si intende documentare ha un certo valore storico-artistico e se comunque contiene delle informazioni da

documentare nella loro consistenza, geometria, aspetto, colore e stato di conservazione.
Pertanto il sistema risulta ben impiegato relativamente a superfici comunque decorate: affreschi, graffiti, tarsie, mosaici, pitture in genere e quant'altro. Ma anche le tessiture murarie in laterizio, pietra, o simili costituiscono nelle costruzioni di importanza storico-artistica un interessante parametro da documentare nel dettaglio di ogni singolo elemento, ivi includendo lo stato di conservazione e degrado e, non ultimo, un quadro fessurativo alquanto articolato.
Ciò che invece non si presta a questo tipo di documentazione sono le superfici perfettamente omogenee, intonacate, prive di informazioni di interesse e quelle senza valore storico-artistico. In questi casi il metodo del fotopiano risulta inutilmente impiegato e pertanto scientificamente improprio. Fanno eccezione pochissimi casi: quando si produce il fotopiano semplicemente per estrapolarne delle misure e quando si opera sistematicamente con questi metodi traendo un giovamento nella velocità di esecuzione di certe misure.

EFFETTIVI AMBITI DI APPLICAZIONE

In maniera riepilogativa si elencano qui di seguito i casi in cui il fotopiano si rivela un prezioso strumento operativo:

- La densità delle informazioni risulta essere elevata e difficilmente rilevabile a causa di motivi anche non geometrici e non regolari siano essi decorazioni di qualsiasi genere o aree a differente intensità o tipologia di degrado.
- Notevole importanza storico-artistica di superfici da documentare nel loro stato di conservazione anche in casi in cui sia necessario dare informazioni relativamente a cambiamenti o variazioni: prima, dopo e durante i restauri.
- Le superfici da documentare risultano molto estese e nello stesso tempo è sufficiente fornire informazioni metriche approssimative, in casi di interventi di recupero urbano, tutela del patrimonio e piani del colore.
- Quando vi siano difficoltà di accessibilità ma sia comunque possibile avere buona visibilità per le riprese e venga eseguito un rilievo strumentale per intersezione in avanti su punti notevoli monografati (=annotati) e senza l'utilizzo del prisma. È il caso di alte torri o campanili.
- Quando si disponga di materiale fotografico antico riferito a situazioni pregresse che siano in parte o totalmente variate: stato di conservazione molto peggiorato, o distruzioni per eventi sismici e bellici. In casi di distruzione parziale può essere possibile reperire punti di controllo sulle parti residue.
- Quando si rende necessario, per motivi pratici, economici, politici, o semplicemente di archiviazione, posporre la fase della restituzione a quella ben più immediata delle prese fotografiche.

In ogni caso il fotopiano consente, anche in tempi differenziati, e da operatori con diverse specializzazioni, di estrapolare e vettorializzare, (graficizzare), informazioni relativamente al piano, o ai piani, oggetto del rilievo permettendo la stesura di progetti esecutivi di intervento con una agevole individuazione e quantificazione delle superfici da trattare.

2.6 VALIDITÀ METODOLOGICA DEI CASI LIMITE

Per quanto vi possano essere numerosi limiti di applicabilità, come visto nei paragrafi precedenti, risulta comunque comprensibile l'utilità di questo genere di elaborazioni digitali nella pratica professionale del restauro.
In passato l'architettura ha sempre fatto uso di elaborazioni fotogrammetriche per il rilievo, tuttavia in misura minore di quanto avvenga oggi, e ciò per svariati motivi, che in parte sono stati anche già accennati:

- La fotogrammetria è stata impiegata prevalentemente per rilievi territoriali da aeromobile, (fotogrammetria aerea), per il costo e la complessità delle strumentazioni impiegate.
- Coloro che si sono occupati di fotogrammetria per la produzione cartografica hanno sempre operato secondo parametri rigorosi, scientifici e codificati, considerando quanto non appartiene alla fotogrammetria classica di minor importanza.
- L'avvento del digitale ha portato una vera rivoluzione nell'ambito della disciplina e nella sua diffusione: ha generato maggiori possibilità con minor strumentazione.

Oggi la disciplina del restauro architettonico è più meticolosa e sensibile e per questo cerca un approccio mirato alla individuazione del singolo elemento lapideo, (invece di muoversi per zone di intervento), richiedendo così sistemi di documentazione ad integrazione di quelli tradizionali. Esiste, dunque, una necessità effettiva di elaborare fotopiani che coprano tutte le superfici interessate dagli interventi.

È per i motivi su esposti che talvolta si cerca di produrre fotopiani anche laddove le caratteristiche geometriche dei manufatti da documentare non lo permetterebbero e dove sarebbe necessario l'impiego di altre tecniche di rilievo quali la fotogrammetria classica. Tuttavia l'utilità del fotopiano, (ad integrazione della rappresentazione grafica), nella fase di programmazione degli interventi sulle tessiture murarie è tale, che in molti casi, pur ai limiti dell'applicabilità del metodo e pur con minor attendibilità metrica, è comunque giustificabile.

In altri termini possiamo affermare che anche un fotopiano approssimativo di una certa superficie muraria può avere una sua utilità operativa nella valutazione qualitativa dello stato di degrado della tessitura muraria, nella sua identificazione, perimetrazione e quantificazione sommaria per stimare l'ammontare delle opere. In tali casi è comunque consigliabile denunciare in maniera chiara il grado di attendibilità metrica del fotopiano prodotto, affiancandolo ad un rilievo grafico rigoroso e riportando eventuali punti di riferimento che denuncino i discostamenti registrati.

2.7 L'ATTREZZATURA NECESSARIA PER OPERARE NEL DIGITALE

Abbiamo già sottolineato come l'attrezzatura sia fondamentale nelle applicazioni fotogrammetriche in genere e come questa determini inevitabilmente la qualità e la precisione del lavoro. Tuttavia è possibile realizzare ottimi fotopiani anche con strumentazione modesta avendo cura di operare con metodo e sfruttando alcuni accorgimenti che spesso solo una lunga esperienza fornisce. L'impiego di strumentazione non professionale può comunque essere giustificato dal tipo di rilievo che si vuole produrre e dall'uso che se ne vuol fare (finalità del rilievo).

Illustriamo qui di seguito quale può essere una attrezzatura professionale completa, e quale una "amatoriale" minima.

ATTREZZATURA PROFESSIONALE:
- macchina fotografica metrica o semi-metrica formato minimo 6×6 con accessori;
- teodolite con tutti gli accessori necessari per la completa operatività;
- mire appropriate da apporre sui punti di riferimento;
- 8 lampade per riprese in interni 1000 W con luce a temperatura 3200°K + cavi elettrici;
- ponti o trabattelli secondo necessità, eventualmente carro elevatore;
- scanner metrico per pellicole a risoluzione ottica di almeno 2000dpi;
- software per il raddrizzamento digitale;
- computer PC con elevata dotazione di RAM (500Mb) e HDD (40Gb), dotato di masterizzatore o sistema di backup alternativo;
- monitor ordinario 21" o due monitor 17-19" in parallelo;
- plotter A0 per stampa colore su carta fotografica;

L'attrezzatura menzionata può essere ragionevolmente stimata in 35.000 euro nel caso si abbia in dotazione la macchina semi-metrica e in 50.000 euro nel caso si abbia la macchina fotografica metrica.

ATTREZZATURA MINIMA:
- macchina fotografica reflex formato 35mm dotata di ottiche fisse 28mm e 50mm (o simili);
- strumenti di rilievo tradizionali come rotelle metriche, stadie, fili a piombo, livella ad acqua etc.
- 8-10 mire adesive o comunque applicabili sulla superficie da rilevare;
- scanner piano con risoluzione ottica di 300dpi;
- software per il raddrizzamento digitale;
- computer PC 64Mb RAM e 1-2 Gb HDD;
- monitor ordinario 17";
- stampante inkjet;

L'attrezzatura menzionata può essere ragionevolmente stimata in 3000-4000 euro in funzione di modelli e caratteristiche degli strumenti; tuttavia parte delle menzionate attrezzature, (tra cui PC e macchina fotografica), sono strumenti professionali assai diffusi.

FOTOCAMERA METRICA

Una fotocamera metrica è una macchina fotografica progettata e costruita per fotogrammetria ed è impiegabile per realizzare rilievi fotogrammetrici terrestri o aerei, (in tal caso i modelli si differenziano notevolmente per dimensioni e caratteristiche). Naturalmente una fotocamera metrica può parimenti essere impiegata per altre applicazioni fotogrammetriche come la produzione di fotopiani con il massimo della qualità. Una fotocamera metrica, come già illustrato, è dotata anche di molteplici obbiettivi ma tutti con il fuoco bloccato all'infinito. Ha caratteristiche di formato, di qualità dell'ottica e di prestazioni a livelli persino superiori a quelli professionali. Ha dispositivi meccanici, (o più spesso ad aspirazione), che garantiscono la planarità della pellicola durante lo scatto. È accompagnata da un certificato di calibrazione che ne indica i parametri di orientamento interno così come descritto nel capitolo precedente.

FOTOCAMERA SEMI-METRICA

Le fotocamere semi-metriche sono macchine fotografiche di vari formati, (generalmente 6×6), nate per uso professionale e modificate artigianalmente

per rilievi fotogrammetrici assumendo così caratteristiche in tutto simili, ma non equivalenti, alle fotocamere metriche.
Le fotocamere semi-metriche, anch'esse con certificato di calibrazione, sono inoltre dotate di un dispositivo che sovraimprime alla pellicola un grigliato di crocette, (fino a 111), dette "reseau" le cui posizioni sono calibrate e certificate e che consentono, nelle fasi successive, un controllo delle deformazioni della pellicola o di eventuali acquisizioni con scanner piano.

FOTOCAMERE DIGITALI:
Un discorso a parte può essere fatto per le fotocamere digitali che solo recentemente hanno conosciuto un notevole sviluppo tecnologico ed una maggiore diffusione, (1994 Apple presentò la Quicktake 100 prima fotocamera digitale per uso amatoriale), e che iniziano ad avere caratteristiche tecniche che le rendono competitive con la fotografia tradizionale. La fotografia digitale, per questo tipo di applicazioni, è destinata ad imporsi poiché offre notevoli vantaggi fra cui l'eliminazione di alcune fasi di lavoro importanti come lo sviluppo delle pellicole e l'acquisizione delle stesse con scanner digitale, (passaggio che oltretutto provoca una perdita di qualità).
Inoltre nella fotografia digitale il problema della perfetta planarità della pellicola, (importante per garantire precisione metrica), non si pone poiché la pellicola è sostituita da un sensore Ccd, (Charged coupled device), comunque piano. Aspetto fondamentale che però deve soddisfare la macchina digitale è la qualità e la densità di informazioni che riesce a leggere, ovvero la risoluzione massima di immagini non compresse che può acquisire e memorizzare: questa deve essere di almeno 2-4 Mpixel, (MegaPixel), per poter eseguire delle applicazioni fotogrammetriche di una qualche utilità architettonica.
Nel settore professionale sono già disponibili banchi ottici digitali con prestazioni notevoli in termini di risoluzione: si parala di immagini non compresse di 10.000×10.000 pixel con dimensioni di 300-400 Mb.

2.8 REALIZZAZIONE DI UN FOTOPIANO DIGITALE: INDICAZIONI OPERATIVE

Seguono qui delle indicazioni operative, desunte da numerose esperienze e casistiche, per realizzare correttamente un fotopiano, valide sia per piccole applicazioni che per rilievi complessi.

2.8.1 FASE DI PROGETTO

È necessario programmare il rilievo che si vuol realizzare valutando svariati aspetti relativi al lavoro di campagna ed alle difficoltà pratiche di accessibilità e ripresa. Occorre soprattutto stabilire anticipatamente quali e quante riprese saranno necessarie per coprire interamente la superficie oggetto del fotopiano: questa fase di valutazione è principalmente condizionata dall'angolo di campo che si abbraccia con la propria attrezzatura fotografica e dagli spazi liberi che si hanno a disposizione per poter fare le inquadrature. In ogni caso è bene valutare la possibilità di punti di vista alternativi e vantaggiosi: quali edifici dirimpetto e luoghi che consentano comunque una ripresa ottimale.
Il numero delle riprese e la loro posizione è funzione anche dell'accessibilità dei relativi punti di controllo, pertanto è bene verificare di poter rilevare almeno quattro punti di riferimento ben distribuiti per ogni fotogramma.

È importante capire che il numero delle riprese determina anche la densità di informazione del fotopiano ovvero la sua risoluzione e la più piccola misura conseguentemente rilevabile.
In altri termini, fare un'unica fotografia della facciata di un edificio richiede di posizionarsi ad una certa distanza da esso coprendo così la sua superficie con un unico scatto; questo, per quanto poi possa essere ingrandito non permetterà accuratezze oltre un certo livello.
Avvicinandosi alla facciata dell'edificio e facendo non una, ma due fotografie per coprire la medesima superficie permetterà una maggiore densità di informazione ed una maggiore risoluzione metrica. Sarà però raddoppiato tanto il lavoro di ripresa che quello di rilievo, e sarà necessario un aggiuntivo lavoro di mosaicatura delle foto parziali per ottenere il fotopiano completo con generazione di errori locali nell'area di giuntura.

Pianificare questo aspetto in maniera scientifica definendo risoluzione metrica e precisioni significa operare necessariamente con il teodolite ,(per avere i punti di controllo con precisioni controllabili), e fare alcuni calcoli matematici che verranno esposti in un paragrafo specifico di questa trattazione al termine del capitolo corrente.

In alternativa è consigliabile specie a tutti coloro che si trovassero alle prime esperienze in questo campo o che avessero una nuova attrezzatura mai verificata, o in ogni caso prima di un grosso lavoro, di compiere delle prove complete per testare in maniera sperimentale se i risultati ottenuti soddisfano le esigenze di precisione e di qualità. Queste prove sperimentali possono essere realizzate a svariate distanze dal soggetto e possono essere acquisite per tentativi a diverse risoluzioni e stampate alla scala prevista. In ogni caso è bene valutare molto attentamente il numero di scatti da realizzare per coprire un singolo fotopiano infatti:

- uno scatto, (o pochi scatti), potrebbero portare ad un fotopiano poco dettagliato;
- troppi scatti potrebbero portare ad un notevole lavoro di mosaicatura ed ad un conseguente aumento degli errori e della complessità del rilievo.

Devolvere molte energie nelle fasi preliminari del lavoro, compiendo verifiche, prove e pianificando le riprese ripaga in precisione, rapidità e qualità: consente di eseguire le elaborazioni senza problemi tecnici e mediamente con risultati finali assai migliori.

Terminata la fase di progetto subentrano le fasi di ripresa e rilievo, che possono essere eseguite nell'ordine voluto purché si segua determinati accorgimenti:

caso 1: la ripresa precede il rilievo: Al momento dello scatto è necessario verificare che nell'inquadratura siano presenti i punti di appoggio, (o gli elementi geometrici di riferimento), che si intende utilizzare. Inoltre se si opera per punti di controllo contrassegnati da mire, è necessario che queste siano già piazzate sul piano da rilevare ed in questo caso il rilievo non potrà essere rimandato a lungo, pena il rischio che qualche mira venga rimossa. Se invece si intende operare senza mire ma su punti notevoli e riconoscibili, allora le stesse fotografie possono essere sviluppate e stampate prima di procedere al rilievo: in questa maniera le immagini saranno un utile supporto per la registrazione dei punti utilizzati e consentiranno un posizionamento ottimale degli stessi in funzione dello scatto realizzato.

caso 2: il rilievo precede la ripresa: In questo caso è necessario verificare che la posizione dei punti rilevati ricada nelle fotografie che si intende realizzare con una disposizione idonea al processo di elaborazione. Se si opera con le mire sarà necessario far seguire a breve la ripresa fotografica per gli stessi motivi di sopra. Se invece si esegue un rilievo per punti di controllo notevoli e riconoscibili, questi, in assenza di supporto fotografico devono essere monografati (= registrati) graficamente con disegni di campagna.

2.8.2 FASE DI RIPRESA

Il segreto per fare un fotopiano di qualità, leggibile e denso di informazioni è semplicemente di realizzare delle immagini fotografiche perfette: se le immagini sono carenti i risultati non potranno che essere peggiori visto che la qualità diminuisce in seguito ai vari passaggi (acquisizione, raddrizzamento e stampa).

MATERIALE FOTOGRAFICO

- È consigliabile utilizzare pellicole lente (bassa sensibilità): massimo 100 ASA. Minore è la sensibilità più fine è la grana.
- Utilizzare pellicole a colori solo se necessario poiché queste hanno una grana più grossa del bianco e nero.
- Esporre su cavalletto con tempi lunghi e con diaframma chiuso per migliorare la nitidezza dell'immagine ai bordi e la profondità di campo.
- Una buona pellicola negativa in bianco nero è la ILFORD PANF 50 ASA;
- Una buona pellicola negativa colori è la FUJI REALA 100 ASA;
- Per rilievi in interni utilizzare faretti con luce a 3200° K ed una pellicola invertibile per luce al tungsteno come la KODAK EPY 64 ASA;

CONDIZIONI DI RIPRESA

Realizzare le riprese solo con la luce a favore, (alle spalle), aspettando il miglior momento della giornata. Le giornate migliori per le foto di architettura sono quelle coperte, poiché la luce è diffusa e non vi sono né ombre né alte luci che impediscono la leggibilità dell'intera area da rilevare. La stagione più

sfavorevole alle nostre latitudini è l'inverno: le condizioni di luminosità spesso non sono sufficienti per realizzare delle buone immagini.

MODALITÀ DI INQUADRATURA
Le migliori inquadrature sono quelle frontali a piano verticale poiché richiederanno in fase di elaborazione correzioni minori offrendo anche omogeneità di scala, di dettaglio e precisione. A tal fine può essere utile realizzare gli scatti da postazioni elevate e non da terra specie in presenza di prospetti alti con poco spazio di ripresa.
È bene ricorrere agli scorci parziali in maniera moderata e solo se necessario per coprire maggiore superficie o per difficoltà di ripresa, (vie a sezione stretta, stanze interne, pavimenti e simili). Per quanto possibile sarebbe meglio realizzare gli scatti sempre dalla medesima distanza dal soggetto e nelle medesime condizioni di esposizione al fine di avere omogeneità di scala, qualità e temperatura colore.

L'inquadratura, come già accennato, deve verificare la presenza dei punti di controllo in campo e garantire una certa sovrapposizione con le immagini adiacenti. Per quanto riguarda la sovrapposizione si evidenzia quanto segue:

- Se si opera per punti di controllo in maniera che siano note le posizioni di tutti i punti rispetto ad un unico sistema cartesiano di riferimento allora la sovrapposizione può essere minima: appena sufficiente ad evitare lacune nel rilievo.
- Mentre se i punti di riferimento sono rilevati in maniera indipendente per ogni scatto fotografico, (sconsigliato), tale che se ne conoscano le posizioni reciproche solo fra quelli pertinenti al medesimo scatto, oppure se si opera senza punti di controllo ma per allineamenti geometrici e rapporto di misure allora è necessario circa un 30% di sovrapposizione con le immagini adiacenti per consentire la realizzazione del mosaico su punti omologhi.

In generale si sconsiglia di sfruttare tutto il fotogramma per queste elaborazioni: infatti le ottiche, soprattutto se di non elevata qualità e se corte, tendono a deformare in maniera sensibile l'immagine ai bordi del fotogramma. Per quanto possibile, sarebbe preferibile riprendere la porzione di piano di interesse solo con la porzione centrale della pellicola sfruttandone circa l'80% e trascurando il restante 20% in prossimità dei bordi. Obbiettivi professionali, macchine metriche e semi-metriche naturalmente hanno deformazioni ai bordi estremamente più modeste di una ordinaria macchina fotografica reflex con ottica standard.

Inoltre è assolutamente indispensabile inquadrare in maniera diretta e centrale il piano oggetto del rilievo: la porzione di piano da rilevare deve occupare comunque la quasi totalità del fotogramma. Difficilmente si ottengono buoni risultati quando si opera su piccole porzioni del fotogramma dal momento che i punti di controllo risulterebbero mal distribuiti rispetto alla proiezione centrale complessiva dando così origine a trasformazioni che mandano in crisi gli algoritmi matematici per indeterminatezza di alcune incognite.

2.8.3 FASE DI RILIEVO

Il rilievo finalizzato alla produzione di fotopiani può essere condotto con varie modalità in dipendenza della strumentazione a disposizione, dei risultati che si vuol ottenere e del livello di precisione necessario.

In ogni caso un rilievo finalizzato alla realizzazione di un fotopiano ha come obbiettivo quello di determinare la posizione di un certo numero di punti di controllo, salvo che non si utilizzino tecniche alternative dagli esiti molto più incerti, come verrà illustrato più avanti in questo stesso paragrafo.

Si ricorda che in questa particolare applicazione fotogrammetrica detta "fotopiano" si opera sempre su di un unico piano e tramite una immagine fotografica per volta; le eventuali immagini aggiuntive devono essere riferite al medesimo piano. Analogamente i punti di controllo saranno scelti opportunamente per ogni scatto fotografico ma dovranno appartenere al piano che si vuol rilevare, e nell'eventualità di più immagini fotografiche, dovranno comunque essere tutti appartenenti al piano prescelto. Ogni piano pertanto determina un progetto totalmente indipendente che richiede differenti immagini e differenti punti di controllo.

La distribuzione dei punti di controllo è fondamentale per la riuscita del fotopiano. Per operare al meglio si tengano presenti le seguenti regole operative desunte da pratica e teoria:

- Si ha la massima attendibilità del fotopiano solo all'interno del poligono definito dai punti di controllo più esterni.
- Il numero di punti minimo per poter realizzare la trasformazione è di quattro punti per ogni fotogramma da processare.
- Il numero di punti minimo per poter verificare l'esistenza di un errore di battitura è di cinque punti per ogni fotogramma da processare.
- Il numero di punti sufficiente per una buon rilievo è di 6-7 punti per fotogramma, purché ottimamente distribuiti.
- I punti devono comunque appartenere tutti al piano da rilevare.
- Per ogni fotogramma da processare vi devono essere almeno quattro punti collocati in prossimità dei quattro vertici del fotogramma e nello stesso tempo non in prossimità dei bordi dello stesso, (vedi figura 01).
- I punti in ogni caso non devono essere tutti allineati.
- Più fotogrammi adiacenti possono sfruttare gli stessi punti di controllo purché visibili nel fotogramma.
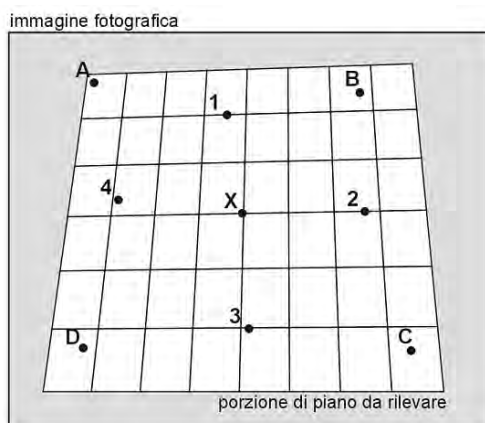
fig.01 - In figura è rappresentata una configurazione idonea per la realizzazione di un fotopiano: la porzione di piano di interesse occupa il fotogramma in maniera significativa ma non totale, lo scorcio prospettico è visibile ma non eccessivo (omogeneità di scala); i punti di controllo A,B,C,D sono essenziali e ben disposti, (agli estremi ma non troppo prossimi ai bordi); il punto X consentirà di verificare l'entità dell'errore; i punti 1,2,3,4 sono integrativi, non indispensabili ma contribuiscono ad una migliore determinazione dell'omografia.

È possibile, schematizzando, introdurre e descrivere tre modalità o livelli operativi di conduzione del rilievo: questi non sono in alcun modo da considerarsi dei riferimenti convenzionali ma piuttosto una semplice

suddivisione indicativa allo scopo di dare approcci equilibrati e coerenti nel grado di precisione. Non si escludono tuttavia metodologie integrate o alternative rispetto a quelle presentate.

RILIEVI CON STRUMENTI DI MISURA TOPOGRAFICI

Rilievi di precisione sono condotti per punti di controllo attraverso l'impiego di strumenti di misura quali il teodolite. Sono frequentemente impiegati con l'apposizione di mire (contrassegni di varia foggia o modelli ma anche semplicemente cartoncini bianchi e neri che aiutano nell'individuazione dei punti durante le fasi di rilievo). Tuttavia, se le caratteristiche del piano lo consentono, o se i punti non sono di facile accessibilità è possibile esimersi dall'apposizione delle mire purché sia possibile individuare dei punti notevoli di facile riconoscibilità che debbono essere accuratamente monografati (rappresentati graficamente o documentati con fotografie integrative di dettaglio).

Il rilievo strumentale dei punti rilevati può essere condotto secondo qualsiasi sistema di riferimento e può essere coerente con eventuali altri rilievi topografici condotti per la documentazione del manufatto. Le coordinate dei punti devono però essere espresse nelle tre coordinate X,Y,Z e dovranno essere poi trasformate, (come illustrato nel paragrafo seguente). È comunque necessario conoscere l'orientamento corretto del rilievo nello spazio circostante ovvero l'orientamento dei punti quota, (aspetto assolutamente normale in qualsiasi rilievo topografico). In ogni caso, qualora il rilievo strumentale non sia eseguito direttamente da chi opera le elaborazioni fotogrammetriche, è sempre consigliabile disporre dei punti rilevati in maniera completa ed operare le trasformazioni necessarie in proprio.

L'accuratezza di un rilievo di precisione così condotto dipende dalla qualità della strumentazione impiegata, dalla modalità con cui vengono contrassegnati i punti, e dalla precisione di battitura.

RILIEVI CON STRUMENTI DI MISURA TRADIZIONALI

Qualora non si disponga di strumentazione topografica per il rilievo, si può comunque operare con i metodi tradizionali. L'attrezzatura richiesta è la seguente: rotelle e fettucce metriche, livella ad acqua, mire o contrassegni e fili a piombo.

Per quanto concerne l'applicazione delle mire valgono le stesse osservazioni fatte precedentemente: si può eventualmente evitare di applicare le mire purché l'individuazione dei punti prescelti sia garantita tanto nelle fasi del rilievo, quanto in quelle della elaborazione fotogrammetrica.

Se si sta rilevando un piano in elevato, (prospetto), è necessario, all'interno di tutto il fotopiano, individuare almeno due punti distanti che si trovino alla medesima quota, (con l'uso della livella ad acqua), oppure un allineamento verticale, (con filo a piombo), per poter così ruotare il fotopiano mosaicato coerentemente alla linea di terra ed alla verticale.

In ogni caso è opportuno che tutti i punti necessari all'elaborazione di tutti i fotogrammi siano rilevati nelle loro coordinate X,Y secondo un unico riferimento cartesiano appartenente al piano: a questo scopo si consiglia di procedere tramite triangolazioni successive rispetto ad un punto origine (0,0) arbitrariamente prescelto.

Prendere delle misure aggiuntive rispetto ai punti rilevati, specialmente misure importanti come altezze massime e lunghezze complessive può essere di notevole aiuto e di verifica. Allo stesso scopo è consigliabile prendere allineamenti orizzontali aggiuntivi ed allineamenti verticali con fili a piombo che possono essere ripresi nelle stesse fotografie del fotopiano.

RILIEVI IN MODALITÀ GEOMETRICA
Esiste infine una modalità di realizzazione del fotopiano digitale detta "geometrica" che solo alcuni software rendono disponibile. Tale modalità di fatto consente di non eseguire, quasi, il rilievo ma è percorribile a condizione che si possa determinare i seguenti parametri:

- due allineamenti orizzontali fra loro distanti nel fotogramma ed appartenenti al piano;
- due allineamenti verticali fra loro distanti nel fotogramma ed appartenenti al piano;
- il rapporto fra due misure appartenenti al piano, di cui una orizzontale ed una verticale, che siano significative, (grandi), rispetto agli elementi raffigurati nel fotogramma o in alternativa il punto principale P, (proiezione del punto C, centro della proiezione), che con buona approssimazione corrisponde all'incrocio delle diagonali del fotogramma.

Per determinare quanto sopra senza prendere misure di punti di controllo è necessario che sul piano siano ben visibili, regolari, ed attendibili elementi architettonici significativi con l'orientamento richiesto: possono essere decorazioni, cornici marcapiano, lesene e simili.
È intuibile come il grado di precisione ottenibile operando in questa modalità sia estremamente basso e affetto da gravi errori che l'operatore può commettere considerando allineati certi elementi che di fatto non lo sono o considerando orizzontali e/o verticali elementi con inclinazione differente.
Il metodo risulta ancor più affetto da errori qualora si proceda successivamente alla mosaicatura per punti omologhi, e quando il piano da rilevare abbia una conformazione molto allungata. In questa modalità uno scorcio maggiormente accentuato nella ripresa delle fotografie risulta di aiuto nella migliore determinazione dei punti di fuga che altrimenti possono facilmente essere individuati dal software all'infinito anche se non lo sono.

È da sottolineare che l'omografia per via geometrica rispetto a quella analitica, (=per punti di controllo), di fatto non introduca sostanziali novità concettuali e teoriche ma semplicemente fornisca i parametri incogniti attraverso presunti allineamenti piuttosto che con punti noti. In modalità geometrica vengono individuate le fughe e quegli elementi notevoli della trasformazione omografica seguendo modalità che sono più simili a quanto avviene operando con costruzioni grafiche.

Si consiglia di non realizzare fotopiani in modalità geometrica se non per ottenere risultati preventivi o di larga massima. In ogni caso dovrebbe essere evidenziata nelle presentazioni del lavoro la scarsa attendibilità dell'elaborato così ottenuto.

2.8.4 FASE DI TRASFORMAZIONE DEI PUNTI

I dati metrici acquisiti durante il rilievo di campagna relativi ai punti di controllo devono essere opportunamente trasformati per essere utilizzabili nell'ambito di alcuni software per la generazione di fotopiani digitali. Ed in generale risulta comprensibile come sia necessario, indipendentemente dagli strumenti utilizzati, avere i punti rilevati espressi in coordinate cartesiane bidimensionali X,Y riferiti al piano di appartenenza con l'origine giacente nel piano medesimo. A seconda che si sia operato con teodolite o con strumenti di rilievo tradizionale si seguiranno due procedure differenti di seguito illustrate. Naturalmente quelli proposti sono semplicemente metodi

alternativi per realizzare operazioni che normalmente possono essere svolte con software appositi o con la stessa strumentazione di rilievo.

ROTOTRASLAZIONE DI COORDINATE SPAZIALI

Se i punti rilevati con teodolite sono in formato testo, (elenco numerico di coordinate), sarà necessario inserire i valori in un programma di CAD al fine di poter visualizzare al computer i punti battuti. Qualora lo strumento topografico sia uscito direttamente in formato digitale vettoriale l'operazione è ancora più immediata in quanto basterà importare il file nello stesso CAD.
Se si utilizza il CAD Autodesk, per esprimere le coordinate in un nuovo sistema di riferimento coerente con il piano rilevato, sarà sufficiente far passare l'UCS per tre punti noti scelti opportunamente fra quelli rilevati, (per tre punti passa un solo piano). I tre punti noti devono essere scelti distanti e non in prossimità di irregolarità del piano, (meglio se l'asse X risulta orientato con due punti che definiscono l'orizzonte). Sarà poi sufficiente rileggere le coordinate nel nuovo sistema di riferimento selezionando i vari punti e chiedendo le proprietà, (anche con il comando LIST o con TOOLS INQUIRY id POINT). L'origine potrà essere impostata su un qualsiasi punto del piano tramite il comando UCS e l'opzione "o" (origin): tuttavia alfine di avere le coordinate tutte positive si sceglie solitamente il punto in basso a sinistra fra quelli rilevati.
Per essere certi di non aver commesso errori è bene verificare che le coordinate Z si siano tutte annullate o comunque siano vicine allo zero con discostamenti di ordini di grandezza pari alle irregolarità del piano. Se vi fosse la necessità di determinare il piano che minimizza gli errori e che interpola i punti battuti sarebbe necessario ricorrere ad una routine matematica ai minimi quadrati. Solitamente questa esigenza non sopravviene visto che lievi discostamenti in quota dal piano non conducono ad errori rilevanti o comunque di ordine di grandezza superiore rispetto a quelli in gioco.

DALLE TRIANGOLAZIONI ALLE COORDINATE CARTESIANE

Ancora più semplice risulta il metodo che porta dalle triangolazioni di rilievo al sistema di coordinate cartesiane necessario. Con un foglio, una matita ed un compasso è possibile rimontare le triangolazioni così come si procede in tutti i rilievi. Successivamente si traccia un'origine e due assi cartesiani ortogonali (meglio se l'asse X risulta orientato con due punti che definiscono l'orizzonte). I punti rilevati potranno pertanto essere espressi in funzione delle loro coordinate rispetto agli assi definiti.
Il tutto naturalmente può essere svolto più elegantemente e con maggior precisione in ambiente CAD, sostituendo il compasso con la funzione CIRCLE o ARC: i punti potranno poi essere riletti con le loro coordinate servendosi dei comandi LIST o TOOLS INQUIRY id POINT.

2.8.5 FASE DI DIGITALIZZAZIONE DELLE IMMAGINI

Qualora non si sia utilizzata una fotocamera digitale si rende indispensabile digitalizzare le immagini fotografiche al fine di poter procedere alla trasformazione omografica tramite software. Se si dispone dell'attrezzatura necessaria, sarebbe auspicabile procedere direttamente all'acquisizione della pellicola piuttosto che compiere il passaggio dell'ingrandimento e stampa della stessa, (che naturalmente conduce ad una perdita di qualità e definizione).
L'acquisizione delle immagini tramite scanner richiede una discreta conoscenza della gestione della computer grafica. Per una trattazione completa dell'argomento si rimanda al capitolo specifico di queste dispense,

mentre per la regolazione dei parametri relativi in funzione della precisione del rilievo si rimanda al termine del presente capitolo.

Per avere delle indicazioni generali ed estremamente pratiche sulle modalità di esecuzione di questa fase operativa si tenga presente i seguenti suggerimenti:

- Acquisire le immagini e salvarle in formato tif (tagged image format) non compresso. Nessun tipo di compressione è utilizzabile: vietato il formato jpg che può degradare l'immagine.
- Selezionare come profondità di colore la true color 24 bit (16.7 milioni di colori).
- Scegliere una risoluzione opportuna che tenga conto della scala di rappresentazione in stampa (vedi spiegazioni successive).
- Indicativamente una pellicola viene acquisita a risoluzioni oltre i 1000 dpi, mentre una stampa su carta a risoluzioni che partono dai 300 dpi.
- Non acquisire informazioni in esubero rispetto a quelle necessarie o rispetto a quelle che il supporto può contenere.
- Utilizzare esclusivamente scanner piani per l'acquisizione delle stampe; utilizzare scanner per trasparenti per acquisire le pellicole.

Acquisire immagini troppo grandi, se non si ha un computer dalle buone prestazioni, può portare ad una gestione difficoltosa del lavoro specialmente in presenza di fotomosaici. La valutazione in base alla scala di stampa si può eseguire secondo il seguente procedimento semplificato:

- Si valuta la scala media del fotogramma (pellicola o stampa): ovvero si misura un elemento, (appartenente al piano), di dimensioni note collocato in posizione media rispetto alla prospettiva e si calcola il rapporto di scala rispetto allo stesso nelle vere dimensioni, (esempio 1:200).
- Si stabilisce, in base alle esigenze e/o richieste, la scala di rappresentazione del fotopiano elaborato, e quindi della sua stampa (esempio 1:50).
- Si divide il primo valore per il secondo (200/50=4) ottenendo il coeff. di scala che equivarrà al fattore di riduzione della risoluzione.
- Stabilita la qualità di stampa richiesta (150 dpi sono spesso più che sufficienti anche se la stampante nominalmente raggiunge livelli ben superiori), si moltiplica questa per il fattore di riduzione: 150dpi × 4= 600dpi, ottenendo così la risoluzione di acquisizione necessaria.
- Si fa una prova di acquisizione alla risoluzione calcolata e di stampa alla scala stabilita per verificare di avere un risultato soddisfacente anche in rapporto alla qualità dei propri strumenti (scanner e stampante).

Procedimenti professionali prevedono l'acquisizione della pellicola su scanner fotogrammetrico piano in bagno d'olio, (per garantire la perfetta aderenza tra pellicola e vetro), con risoluzioni che possono raggiungere i 2800 dpi.

Per riferimento si allega una tabella che può facilitare nella valutazione della risoluzione di acquisizione delle immagini in base alle dimensioni che queste occupano nella memoria del computer. In colonna sulla sinistra sono riportate le varie risoluzioni tra 200dpi e 1400dpi, mentre nella prima riga sono indicati i formati più comuni in millimetri dal 24×36 corrispondente al netto delle pellicole 35mm fino ai formati "cartolina" di stampe fotografiche come il cm10×cm15 o il cm13×cm18. In tabella sono espresse le dimensioni in Kb (=1024 bytes) della relativa immagine in true color RGB non compressa:

	24×36	**45×60**	**60×60**	**60×70**	**60×90**	**100×150**	**130*180**
200	157	490	654	763	981	2.725	4.250
300	353	1.103	1.471	1.717	2.207	6.130	9.563
400	628	1.962	2.616	3.052	3.923	10.898	17.002
500	981	3.065	4.087	4.768	6.130	17.029	26.565
600	1.412	4.414	5.885	6.866	8.828	24.522	38.254
700	1.922	6.008	8.010	9.345	12.016	33.377	52.067
800	2.511	7.847	10.463	12.206	15.694	43.594	68.006
900	3.178	9.931	13.242	15.449	19.862	55.173	86.071
1000	3.923	12.261	16.348	19.072	24.522	68.115	106.260
1100	4.747	14.836	19.781	23.077	29.671	82.420	128.575
1200	5.650	17.656	23.541	27.464	35.311	98.086	153.014
1300	6.631	20.721	27.628	32.232	41.441	115.115	179.579
1400	7.690	24.031	32.041	37.382	48.062	133.506	208.270

tab.01 - dimensioni delle immagini in Kb al variare del formato (mm) e della risoluzione di acquisizione (dpi)

La formula che dà i risultati in tabella è la seguente:

$(dim1/25.4) \times dpi \times (dim2/25.4) \times dpi \times 3 / 1024$

dove dim1 e dim2 sono le dimensioni del formato in millimetri, 25.4 è il valore approssimato del pollice in millimetri, 3 è il numero di canali del colore (RGB) e 1024 è il numero di bytes contenuti in un Kb.

Come si può notare una cartolina acquisita a 1000 dpi porta quasi ad una immagine di 70 Mb: per questo è assolutamente necessario controllare e programmare la risoluzione di acquisizione.

2.8.6 FASE DI ELABORAZIONE DIGITALE

Esistono numerosi software specificatamente dedicati a questo genere di applicazioni che possono essere utilizzati con ottimi risultati nella realizzazione dei fotopiani digitali. Tutti funzionano seguendo modalità simili e sono accompagnati da ampie istruzioni d'uso che possono essere ben comprese alla luce di quanto fin qui illustrato.
Qui di seguito, per completare il percorso di elaborazione del fotopiano saranno fornite indicazioni sull'uso di uno di questi software denominato, (non si sa per qual motivo), Archis, ed attualmente fra i più diffusi in ambito nazionale.

Per quanto possibile saranno raccolti anche dati e manuali d'uso pertinenti ad altri software con l'aiuto di coloro che già li utilizzano e li possono presentare.

2.9 USO DEL SOFTWARE ARCHIS: AVVIAMENTO DEL PROGRAMMA

Una volta che il programma è stato avviato, cliccando con il tasto sinistro del mouse l'icona che lo raffigura, è necessario creare un progetto di lavoro. All'interno del progetto di lavoro dovranno essere inseriti tutti i dati che serviranno all'operatore per la realizzazione del proprio lavoro.

2.9.1 OPERAZIONI PRELIMINARI ALL'AVVIAMENTO DI ARCHIS 2D

Le immagini numeriche possono essere già state acquisite ed essere quindi memorizzate su un cd rom, o su un altro supporto magnetico od ottico, oppure può essere necessario effettuare la scansione dei fotogrammi mediante lo scanner connesso al calcolatore.
In ogni caso è necessario creare sul calcolatore su cui si lavora la struttura delle cartelle per ospitare i dati prodotti.
Archis 2D utilizza i seguenti tipi di file:

Tipo di File	Estensione
File descrizione progetto	PRJ
File immagini	TIF, JPG, ECW BMP
File punti appoggio	CPT
File restituzione grafica	DS-CS, DXF, ASC, RES

A ciascun tipo potrà essere assegnata una diversa cartella oppure si potrà usare una unica cartella per ciascun progetto in cui ospitare tutti i tipi di file.
Quando si inizia con un nuovo progetto è necessario che i file delle immagini siano già presenti per cui la cartella che li conterrà deve essere creata prima di iniziare la sessione di lavoro con Archis 2D. Tutti gli altri file e le relative cartelle possono essere creati dall'interno del programma. Si suppone che l'operatore sia in grado di creare nuove cartelle e spostare file tra cartelle.

2.9.2 IMPORTAZIONE DI DATI DA FORMATI COMPATIBILI

Come detto in precedenza Archis 2D utilizza per le immagini il formato TIFF. E' però possibile utilizzare immagini anche in formato JPEG ECW e Bitmap, previa conversione del formato. Questa operazione deve essere eseguita prima di iniziare a lavorare con un progetto.

fig.01

Dal menù *Progetti* selezionare *Importa* e poi *Raster*. Si apre la finestra di fig.01, in cui nella parte in alto si seleziona, tra le estensioni riconosciute,

quella della nostra immagine (JPG ed ECW), nella parte inferiore vengono immessi i nomi delle immagini prima ("*Converte*") e dopo la conversione ("*In*").
L'impostazione del nome del file da convertire viene eseguita premendo il bottone *Sfoglia*. In entrambi i casi si apre la finestra explorer di Windows all'interno della quale l'operatore può impostare il nome del file di origine e di destinazione. Premendo il bottone *OK* si chiude la finestra e si attiva la conversione, premendo il bottone *Annulla*, si chiude la finestra.
Archis 2D usa per la grafica un formato interno detto STM, è però possibile utilizzare file grafici in formato DXF (Autocad©), RES (file di restituzione intermedio di Galileo), ASC (Geobit) e DCT (Galileo) tramite conversione. Dal menù *Progetto* si seleziona la voce *Importa* e poi *Vettoriale*, analogamente a quanto descritto per i file immagine si apre la finestra di fig.01. In questo caso nelle casella "*Da formato*" saranno elencate tutte le estensioni relative ai formati grafici che il programma Archis 2D è in grado di filtrare, mentre nella casella "*A formato*" sarà presente l'estensione del formato grafico interno Siscam s.r.l. (STM).
Archis 2D consente anche di esportare i file utilizzati (raster e vettoriali) verso altri formati (JPEG ed ECW per le immagini, DXF, RES, ASC e DCT per il vettoriale). Dal menù *Progetto*, selezionare *Esporta* e poi *Raster* o *Vettoriale* a seconda del tipo di conversione desiderata, si visualizza la finestra di fig.01 in cui all'interno delle caselle "*Da formato*" e "*A formato*" compariranno le stesse estensioni che erano presenti negli equivalenti procedimenti di importazione, invertite, dato che adesso abbiamo a che fare con un processo di esportazione.
Sotto sono brevemente riassunti quali sono le informazioni che si possono importare od esportare nel caso di un file vettoriale.

Importazione da DXF:
- Punti bidimensionali (2D Point).
- Linee nelle due dimensioni.
- Polilinee in uno spazio bidimensionale.
- Layer, anche se passando al formato interno di Archis 2D vengono trasformati con l'equivalente concetto di codici.
- Testi creati utilizzando i font di Windows.

Esportazione verso DXF:
- Punti bidimensionali (2D Point).
- Polilinee in uno spazio bidimensionale.

Tutti i codici, ognuno dei quali viene convertito in un layer. Ogni codice deve contenere al massimo 8 caratteri che devono obbligatoriamente essere compresi tra:
- A – Z.
- a – z.
- 0 – 9.

Qualunque carattere che non sia di quelli compresi tra quelli scritti sopra viene posto uguale a 0 (zero).

Dal menù *Progetti* selezionando la voce *Importa* e successivamente la voce *Simboli*, si attiva la finestra explorer di Windows in cui andare a selezionare la cartella in cui sono presenti tutti i file dei simboli puntuali, delle linee speciali e delle campiture create ed utilizzate all'interno del programma di restituzione per analogici ed analitici (GPM e Macros). Dopo aver impostato la cartella premendo il bottone *OK* il programma legge tutti i file presenti nella cartella e crea una libreria dei simboli che in fase di restituzione sarà utilizzata in Archis 2D PRO per la vestizione delle entità restituite.

Possono essere importati anche i codici normalmente utilizzati all'interno dei programmi di restituzione collegati agli analitici quali GPM e Macros. Dal menù principale *Progetti* selezionare la voce *Importa* e poi *Codici*. La voce è attiva se nella finestra di lavoro è aperto un progetto. L'operazione così eseguita permette di aprire la finestra explorer di Windows all'interno della quale l'operatore selezionerà il file con estensione AS che desidera importare.

2.9.3 CREAZIONE DI UN NUOVO PROGETTO

Per poter lavorare all'interno di uno qualsiasi dei pacchetti di fotogrammetria digitale di Siscam s.r.l., occorre per prima cosa creare un progetto all'interno del quale saranno selezionate le cartelle di lavoro in cui saranno salvati i file elaborati durante la sessione di lavoro.
Un progetto è costituito da tutti i dati preesistenti e creati da Archis 2D relativi all'esecuzione di un certo lavoro di rilievo. Quando si inizia un nuovo lavoro disporremo solo dei file delle immagini, si dovrà però specificare anche il nome di altri file che saranno utilizzati in fase di lavoro.
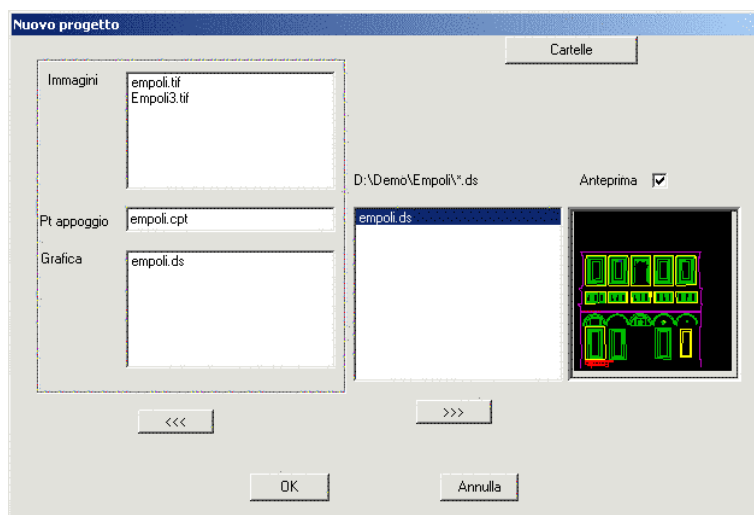
fig.02

Sempre dal menù *Progetto* si seleziona *Nuovo progetto*, si aprirà la finestra mostrata in fig.02.
Il bottone *Cartelle*, presente in alto a destra della suddetta finestra, permette di selezionare tutte le cartelle all'interno di un progetto una volta per tutte. La pressione di questo bottone attiva una finestra come quella mostrata in fig.02.
In ciascuna delle caselle presenti nella finestra è possibile digitare per esteso il nome della cartella in cui andare a cercare i file. Sono nomi validi sia quelli che specificano il nome di una unità (ad esempio C:\), sia quelli che indicano il nome di una unità di rete (ad esempio: \\stazione1\).
La pressione del tasto di *Invio* (*Enter*), permette di spostare il cursore da una finestra alla successiva in modo del tutto trasparente. Il nome delle cartelle di lavoro può essere selezionato utilizzando il tasto *Sfoglia*>>> quando il fuoco della finestra è all'interno del campo desiderato, la pressione di questo bottone attiva la finestra explorer di Windows all'interno della quale è possibile sia selezionare la cartella di lavoro che l'unità da cui prelevare le cartelle.
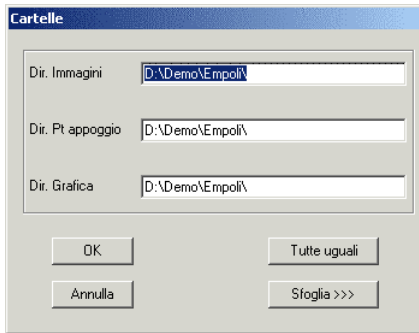
fig.03

La pressione del tasto *Invio* permette la memorizzazione dell'informazione selezionata.
La pressione del tasto *Tutte uguali*, fa si che tutte le cartelle di lavoro siano un'unica cartella di lavoro, questo vuol dire che all'interno di una stessa directory saranno presenti sia i file delle immagini che i punti di controllo etc.
La finestra può essere chiusa sia premendo il tasto *OK* che premendo il tasto *Annulla*, nel primo caso vengono accettate e salvate le impostazioni che l'operatore ha eseguito, nel secondo caso non viene memorizzato niente di quanto è stato fatto.
Nelle tre caselle presenti nella parte alta a sinistra della finestra di fig.03 si specificano rispettivamente:

- i file delle immagini;
- il file dei punti di appoggio;
- i file della restituzione grafica.

Si passa ciclicamente da una casella alla successiva premendo il tasto di *Invio* (*Enter*). Nella casella in basso a destra sono mostrati, per tipo, i file utilizzabili. Così quando l'operatore attiva la casella delle immagini, nella finestra in esame vengono mostrati solo i file, che nella cartella specificata, hanno estensione TIF. Quando il cursore è nella casella di mezzo, nella finestra a destra sarà mostrata la sola lista con i nomi dei file dei punti di appoggio e così di seguito. Le immagini devono essere presenti al momento della creazione del progetto per cui non è possibile digitarne il nome, ma questo va prelevato dalla lista posta in basso facendo doppio clic sui nomi desiderati. Analogamente, se si vuole eliminare una delle immagini selezionate, si fa doppio clic sul nome in esame. In un progetto è possibile inserire fino a 100 immagini.
Per gli altri tipi di file si può procedere in modo analogo prelevando il nome dalla lista in basso mediante doppio clic, oppure se si deve specificare un file non ancora esistente se ne digiterà il nome. Se si attiva la casella *Anteprima*, nella finestra a destra verrà mostrata una anteprima del file selezionato. Questo è vero per ogni tipo di file per cui è richiesta l'anteprima (nella fig.02 è mostrata l'anteprima di un file vettoriale).
Quando si fa clic sul bottone *OK* i dati inseriti vengono verificati e viene segnalato errore se si verifica una delle seguenti coincidenze:
- Alcune delle immagini specificate non esistono. In questo caso non è possibile uscire dalla procedura fintanto che questi dati non sono stati corretti.
- Se il file dei punti di appoggio è stato specificato ma non esiste viene chiesta l'autorizzazione a crearlo (vedere più avanti per la procedura di creazione e modifica del file dei punti di controllo).

Se tutti i vincoli sono stati rispettati il progetto può essere registrato, il nome da attribuire al progetto viene richiesto utilizzando la box di explorer. Se si

cerca di registrare il progetto col nome di un file già esistente, prima di procedere viene chiesta l'autorizzazione alla sovrascrittura del vecchio file.
☞*ATTENZIONE!!!* Le funzioni *Importa*, *Esporta*, *Nuovo progetto, Apre progetto* sono attivabili solo quando non ci sono progetti aperti.

2.9.4 MODIFICA DI UN PROGETTO ESISTENTE

I dati inseriti in un progetto possono essere modificati per aggiungere o eliminare immagini oppure per sostituire alcuni dei file associati. Dal menù *Progetto* selezionare *Edita progetto*. Viene aperta la finestra explorer di Windows da utilizzare per impostare il nome del progetto da aprire. Viene poi utilizzata la stessa finestra già impiegata per creare un nuovo progetto (Confronta fig.03). I vari campi adesso compariranno già riempiti secondo le impostazioni che erano state effettuate in precedenza. Valgono quindi le stesse regole illustrate nella descrizione della modalità di creazione di un nuovo progetto. Per uscire salvando le modifiche apportate si fa clic sul pulsante *OK*. Viene aperta la finestra explorer di Windows per impostare il nome da attribuire al progetto modificato. È ovviamente possibile conservare il nome impostato in precedenza. Premere il pulsante *Annulla* per uscire senza salvare le modifiche fatte.

2.9.5 APERTURA DI UN PROGETTO

Prima di iniziare il lavoro di raddrizzamento occorre specificare il nome del progetto su cui operare. Dal menù *Progetto* si seleziona la voce *Apre progetto*. Viene aperta la finestra explorer in cui selezionare il nome del progetto da aprire. Quindi prima di poter aprire un progetto è necessario crearlo. Ci si può accorgere che c'è un progetto aperto perché il suo nome compare nella barra del titolo del programma.
Per chiudere un progetto dal menù *Progetto* selezionare la voce *Chiude progetto*.
Per poter cambiare il progetto attivo è necessario prima chiudere l'eventuale progetto aperto.
Il passaggio da un progetto ad un altro in Archis 2D è facilitato, dalla presenza di una nuova funzione automatica che, impostato il nome del progetto da aprire, se non trova i file nelle cartelle preimpostate cerca i file specificati nelle altre cartelle del sistema.
Aprire un progetto vuol dire selezionare l'insieme dei dati su cui operare. Le immagini su cui operare sono solo quelle attribuite al progetto.

2.9.6 IL FILE DEI PUNTI DI APPOGGIO

In fase di creazione di un nuovo progetto, se il file dei punti di appoggio non esiste si entra automaticamente nella procedura di creazione di questo file. Se in corso del lavoro nasce l'esigenza di modificare i dati di questo file si richiama questa stessa procedura aprendo il menù *Raddrizzamento* e selezionando la voce *Punti appoggio*.
Questa operazione porta all'apertura della finestra mostrata in fig.04. Ciascun elemento nel file dei punti di controllo è individuato da una coppia di codici.
Gli elementi così codificati possono rappresentare:

- Coordinate planimetriche.
- Coordinate complete.

Se si introducono solo i valori indicati con *Coord. X* e *Coord Y* (lasciando vuoto l'ultimo campo) tali valori saranno interpretati come coordinate planimetriche. L'eventuale introduzione della coordinata Z è lasciata libera all'operatore ad ogni buon conto occorre sottolineare che questa non è presa in considerazione dal programma.

fig.04

In ciascuna casella si digita il valore desiderato e si preme *Invio* per passare al campo successivo; dopo aver introdotto l'ultimo campo, i valori introdotti vengono analizzati e se corretti vengono riportati nella lista sottostante.
☞*ATTENZIONE!!!* Non è possibile inserire i dati direttamente nella lista!

Se si seleziona un campo nella lista, i dati di questo campo vengono automaticamente riportati nelle caselle di testo dove sarà possibile modificare i valori riportati, oppure cancellarlo completamente facendo clic sul bottone *Cancella*.
Eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse è possibile riportare i valori nelle finestre in alto e quindi modificare i valori esistenti, cancellare parte delle informazioni inserite, così come è possibile cancellare quel punto. Una volta che quel punto è stato modificato lo possiamo reinserire nella lista.
Il pulsante *OK* accetta le modifiche apportate e le registra chiudendo la finestra, il pulsante *Annulla* chiude la finestra scartando le modifiche fatte e, ripristinando i valori precedenti.

2.10 USO DEL SOFTWARE ARCHIS: LE FUNZIONI

Vengono qui di seguito introdotte le funzioni essenziali per la realizzazione del fotopiano digitale tramite questo software.

2.10.1 APERTURA DI UN'IMMAGINE

Prima di poter elaborare un'immagine, occorre che questa sia aperta all'interno dell'area di lavoro. All'interno di Archis 2D si possono individuare tre categorie diverse di immagini:

- Le immagini originali;
- Le immagini raddrizzate;
- Le immagini georeferenziate.
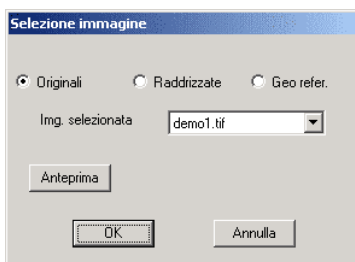
fig.01

Per ciascuna categoria di immagine sono possibili operazioni, generalmente diverse che per le altre. Il menù di Archis 2D è costruito in modo da non attivare le voci di menù non abilitate, dipendentemente dal tipo di immagine aperta nell'area di lavoro. Quando l'operatore, selezionando dal menù principale *Progetto* la voce *Apre immagine*, si accede alla finestra di fig.01.
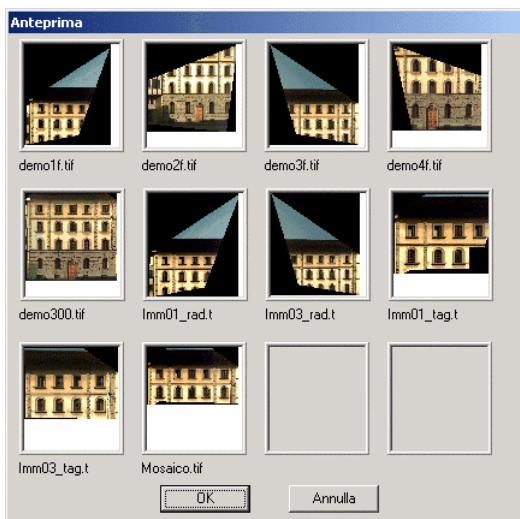
fig.02

All'interno della finestra di selezione attivando i diversi bottoni, si elencano nella finestra "*Img. Selezionata*" le immagini appartenenti a quella categoria. Se l'operatore non riesce a ricordare dal nome l'immagine ad esso associata, può ricorrere al bottone Anteprima che visualizza nell'area di lavoro la finestra mostrata in fig.02 all'interno della quale vengono riportate

le miniature delle immagini appartenenti alla categoria selezionata dall'operatore.
L'immagine può così essere selezionata cliccandola direttamente all'interno della finestra. Premendo il bottone OK si chiude la finestra di fig.02 e la selezione viene trasferita alla finestra di fig.01. Premendo il bottone *OK* di fig.01 si apre nell'area di lavoro l'immagine selezionata.

2.10.2 COMANDI PER LA VISUALIZZAZIONE DELLE IMMAGINI

Per ciascuna immagine selezionata Archis 2D apre una finestra. Durante la fase di raddrizzamento è possibile visualizzare una sola immagine, alla fine dell'operazione di raddrizzamento l'immagina raddrizzata verrà mostrata all'interno di un'altra finestra affiancata alla prima. L'operatore può selezionare quale porzione e con quale fattore di ingrandimento visualizzare ciascuna immagine.
Con fattore di ingrandimento si intende il rapporto tra i pixel dello schermo e quelli dell'immagine. Se ciascun pixel dell'immagine viene riprodotto mediante un pixel dello schermo si dice che il fattore di ingrandimento è 1:1. Se ciascun pixel dell'immagine viene riprodotto mediante 4 pixel il fattore di ingrandimento è 2:1, la porzione di immagine visualizzata risulta ingrandita rispetto all'originale, infine se si fa corrispondere ad un pixel dello schermo 4 pixel dell'immagine si dice che il fattore di ingrandimento è 1:2, si ha un rimpiccolimento dell'immagine rispetto all'originale.
Quando l'immagine non può essere visualizzata interamente in finestra ai lati (destro ed inferiore) vengono visualizzate due barre di scorrimento da usarsi per visualizzare la porzione desiderata.
Se si vuole visualizzare l'intera immagine nella finestra si preme il tasto F3. Generalmente per ottenere questo risultato è necessario rimpiccolire diverse volte l'immagine.
Se si vuole incrementare di uno il fattore di ingrandimento si porta il cursore sul particolare che si vuole cada al centro della finestra e si preme il tasto F5.
Se si vuole decrementare di uno il fattore di ingrandimento si porta il cursore su particolare che si vuole che cada al centro della finestra e si preme il tasto F6.
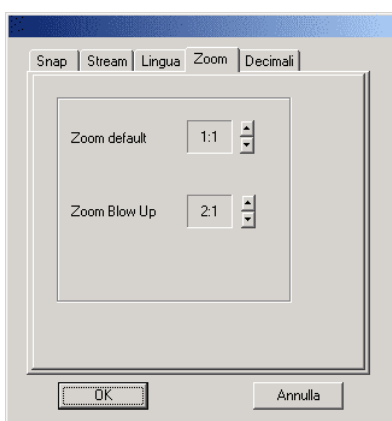
fig.03

Durante il lavoro capiterà spesso di dover visualizzare l'intera immagine per poter selezionare la zona di lavoro su cui portarsi con un fattore di ingrandimento prestabilito idoneo all'esecuzione delle collimazioni. Questa operazione risulta scomoda se fatta usando il solo tasto di incremento perché è necessario visualizzare più volte l'immagine con conseguente

perdita di tempo. Con Archis 2D è possibile definire un fattore di ingrandimento impostabile mediante un solo tasto, Zoom di default. Per definire il valore di questo fattore occorre aprire il menù *Opzioni*, e da qui selezionare la voce *Configurazione* si accede alla finestra di fig.03 all'interno della quale occorre cliccare sulla linguetta *Zoom*. Facendo clic sui bottoni con le frecce (vedi fig.03) si imposta lo zoom di default al valore desiderato, si fa quindi clic su *OK* per accettare il valore selezionato. Per visualizzare una porzione di immagine al fattore di ingrandimento di default portare il cursore sul particolare di interesse e premere il tasto *F4*.
Archis 2D consente inoltre di aprire una piccola finestra detta di Blow-up in cui visualizzare una porzione di immagine fortemente ingrandita. Per aprire questa finestra premere il tasto *F2* o selezionare la voce *Blow-up* del menù *Finestre*. Portare quindi il cursore sulla porzione di immagine che si vuole ingrandire e premere il tasto destro del mouse. Se si trascina il mouse mentre si tiene premuto il tasto destro il contenuto della finestra di blow-up sarà aggiornato in tempo reale (funzione di draging) .
Il fattore di ingrandimento della finestra di blow-up può essere impostato dalla finestra *Zoom* (vedi fig.03) in modo analogo a quanto precedentemente descritto per lo zoom di default, oppure, portando il cursore nella finestra di zoom e premendo *F5* per incrementare di 1 o *F6* per decrementare di 1. Il fattore di ingrandimento per la finestra di blow-up può variare da 1:1 a 1:5. Quando la finestra di blow-up visualizza una porzione di immagine la zona di provenienza viene evidenziata da una bordatura rossa nella finestra dell'immagine.

2.10.3 IL RADDRIZZAMENTO DELLE IMMAGINI

Una volta che il progetto di lavoro è stato creato ed aperto all'interno della finestra di lavoro di Archis 2D, il nome del progetto compare nella cornice del programma. Dopo aver aperto un'immagine, selezionando dal menù principale *Raddrizzamento* la voce *Apre immagine*, è possibile passare al raddrizzamento dell'immagine. Il raddrizzamento dell'immagine può essere eseguito seguendo due strade:

- raddrizzamento per via geometrica;
- raddrizzamento per via analitica.

Il programma è in grado di riconoscere da solo se può procedere con il raddrizzamento geometrico od analitico. Infatti se all'interno del progetto manca il file dei punti di appoggio, è possibile eseguire solo ed esclusivamente il raddrizzamento di tipo geometrico. Al contrario se sono stati misurati dei punti di appoggio e questi sono stati riportati all'interno di un file è possibile eseguire il raddrizzamento sia per via analitica che per via geometrica.

IL RADDRIZZAMENTO PER VIA GEOMETRICA
E' possibile attivare questa procedura se dal menù principale scegliamo la voce *Raddrizzamento* e da qui la voce *Omografia*. Si apre un ulteriore sotto menù all'interno del quale dovremo scegliere la voce *Geometrico*, questa voce è attiva solo quando nell'ambiente di lavoro è stata aperta un'immagine. Il programma mostra a questo punto la finestra di fig.04.
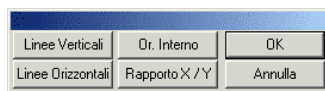
fig.04

In questa finestra sono presenti 4 bottoni funzione oltre ai bottoni di *OK* ed **Annulla**, che servono per continuare nella procedura di raddrizzamento. Il raddrizzamento per via geometrica si basa sulla determinazione dei punti di fuga e sul calcolo del punto principale, il punto entro il quale passano tutti i raggi di proiezione dell'immagine reale sulla pellicola. Nel caso in cui non sia possibile determinare la posizione esatta del punto principale si ricorre all'introduzione di un rapporto tra due misure, una misurata lungo l'asse delle X l'altra misurata lungo l'asse delle Y, misure effettuate durante la sessione di presa delle fotografie. La procedura di raddrizzamento prevede quindi come prima cosa la determinazione del punto di fuga delle linee verticali poi la determinazione del punto di fuga delle linee orizzontali, dopo di che in base al risultato ottenuto scelgo quale procedimento seguire per il raddrizzamento dell'immagine.
Quindi premendo il bottone *Linee Verticali* il programma mostra la finestra di fig.05. In questa fase occorre determinare sull'immagine almeno due rette che nella realtà siano rette verticali. Queste due rette si incontrano in un unico punto, il punto di fuga.
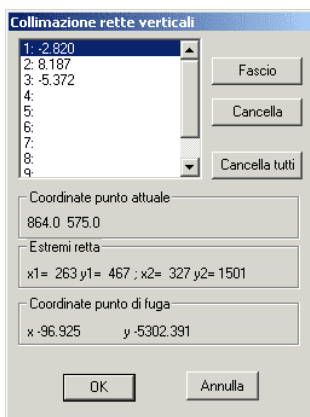
fig.05

Quindi la determinazione del punto di fuga può essere eseguita collimando solo due rette, in questo caso nella lista di fig.05 gli scarti saranno zero, perché due rette o non si incontrano mai, o si incontrano in un punto solo che rappresenta, nel nostro caso, il punto di fuga. Se invece collimiamo più di due rette per ogni direzione gli scarti, espressi in pixel, non saranno più zero ed il sistema risulterà più determinato. Nel caso in cui siano state collimate più di due rette, il punto di fuga viene determinato come il baricentro tra tutti i punti di intersezione di tutte le rette, e gli scarti sono calcolati con il metodo dei minimi quadrati.
La collimazione dei punti è resa più semplice e veloce per mezzo dell'aiuto fornito dalla finestra di blow-up che permette di collimare con maggiore esattezza i punti. L'operazione di collimazione prevede di collimare un primo punto sull'immagine, dopo di che si collima un secondo punto in modo che tra i primi due punti indicati dall'operatore passi una retta che sia nella realtà una retta verticale. Quando il secondo punto è stato collimato il fuoco della lista di fig.05 passa automaticamente al secondo indice. Dobbiamo ripetere l'operazione per almeno due rette verticali, cercando di individuare, sull'immagine che stiamo elaborando, gli estremi di segmenti che nella realtà siano dei segmenti verticali. Sulla finestra di fig.05 quando andiamo a collimare i punti compaiono delle informazioni che aiutano l'operatore nel suo compito. Vengono infatti mostrate le coordinate pixel del cursore del mouse, nella finestra *Coordinate punto attuale*, coordinate che sono aggiornate in tempo reale. Vengono poi indicati nella finestra *Estremi retta* gli estremi del segmento che l'operatore ha individuato come segmento

verticale, e dal momento che l'operatore ha collimato due direzioni verticali nella finestra, *Coordinate punto di fuga*, posta in basso, vengono riportate le coordinate del punto di fuga.
E' in ogni istante possibile ritrovare i punti collimati che individuano i segmenti verticali, semplicemente eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse quando il cursore è all'interno della lista posta in alto, vengono visualizzati in ordine il primo punto collimato e poi il secondo. E' possibile in questa fase cancellare, un singolo segmento, tutti i segmenti che sono stati collimati, o ricollimare uno dei punti dopo averlo ritrovato utilizzando la procedura prima descritta. La cancellazione di un segmento la si esegue premendo il bottone *Cancella* quando una delle collimazioni è stata evidenziata, mentre si possono cancellare tutte le collimazioni eseguite premendo il bottone *Cancella tutti*, in questo caso compare una finestra messaggio a chiedere conferma dell'operazione che andremo ad eseguire. Il bottone *Fascio* serve ad evidenziare il fascio delle rette che abbiamo individuato, la pressione di questo bottone porta al risultato mostrato in fig.06: vengono mostrate le rette appartenenti al fascio che ha come punto generatore il punto di fuga. Le rette possono essere disattivate premendo di nuovo il bottone *Fascio* che dal momento della prima pressione risulta premuto.

fig.06

Lo stesso ragionamento deve essere eseguito adesso per la determinazione del punto di fuga delle rette orizzontali, il procedimento è analogo a quello or ora descritto, tranne per il fatto che andremo a collimare segmenti in una direzione orizzontale. Anche le finestre di dialogo saranno le stesse già viste tranne per il titolo che ciascuna si porterà dietro. In entrambi i casi le due finestre si possono chiudere sia premendo il bottone *OK*, nel qual caso tutte le collimazioni vengono salvate in un file con estensione ORI, sia premendo il bottone *Annulla* rifiutando così tutte le collimazioni che abbiamo eseguito.
Una volta che sono stati determinati i punti di fuga ed accertati che nessuno di questi sia un punto posto all'infinito è possibile procedere alla determinazione del punto principale. Premendo il bottone *Orientamento Interno* di fig.04 si accede alla finestra di fig.07.

fig.07

Per la determinazione del punto principale occorre individuare quattro punti sull'immagine di modo che unendo questi quattro punti a due due, i segmenti si incontrino la dove è posto il centro dell'immagine. Il modo più semplice per eseguire questa operazione è quello di collimare i quattro vertici della foto. Avvalendosi dell'aiuto della finestra di blow-up si può dopo aver attivato il primo bottone di fig.07 collimare uno dei quattro vertici dell'immagine. Dopo la prima collimazione il programma sposta il fuoco della finestra di blow-up nell'intorno del secondo vertice e cosi via fino alla collimazione dell'ultimo punto. Quando anche il quarto punto è stato collimato nella finestra di fig.07 compaiono, nell'area *Coordinate centro immagine*, le coordinate del punto principale. Anche in questa finestra sono visualizzate ed aggiornate in tempo reale le coordinate del cursore espresse in pixel.
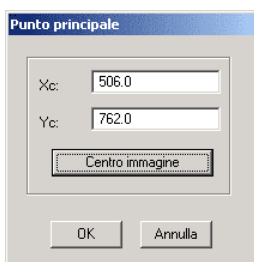
fig.08

Il bottone *Coordinate centro immagine* permette, note a priori le coordinate del centro fotografico, di impostarle direttamente senza dover eseguire nessuna procedura di orientamento. La pressione del bottone produce l'apertura della finestra di fig.08 in cui l'operatore può digitare le coordinate note, o premere il bottone *Centro immagine*, che determina della foto aperta nell'area di lavoro il centro.
La pressione del tasto *OK* permette di chiudere, salvando l'informazione acquisita, la finestra di fig.07. Al contrario non si tiene memoria della misura effettuata se chiudiamo questa finestra con il bottone *Annulla*.
☞*ATTENZIONE!!!* La procedura di calcolo del punto principale può essere eseguita solo ed esclusivamente se i due punti di fuga sono determinati. Qualora uno dei due punti di fuga sia posto all'infinito, rette parallele, occorre ricorrere al procedimento del rapporto X su Y!!!
In alternativa a questo procedimento possiamo seguire la strada della determinazione del rapporto X/Y. Premendo il bottone *Rapporto X/Y* della fig.04 il programma mostra la finestra di fig.09. Al momento dell'apertura nella finestra è attivo il bottone *Orizzontale*, e nella barra dei comandi, in basso alla finestra di lavoro compare il messaggio "*Individuare una lunghezza orizzontale*".

fig.09

L'operatore deve collimare i due estremi di un segmento orizzontale che è stato precedentemente misurato sull'oggetto reale mostrato in figura. Dopo aver collimato il primo punto l'operatore si accorgerà che pur muovendo il mouse in qualunque direzione l'elastico che lega il primo punto collimato al cursore del mouse si muove solo ed esclusivamente parallelamente al fascio di rette che avevamo individuato in precedenza.
Dopo aver collimato il secondo punto l'operatore deve ripetere l'operatore per una lunghezza verticale. Quindi deve prima cliccare sul bottone *Verticale*, contemporaneamente comparirà nella barra dei comandi la scritta "*Individuare una lunghezza verticale*". Ancora una volta l'operatore dovrà eseguire le stesse operazioni viste in precedenza per l'individuazione del segmento orizzontale.
Dopo aver collimato il secondo punto del segmento verticale, l'operatore deve inserire nella casella di testo "*Rapporto X/Y*" il rapporto tra le due lunghezze indicate.
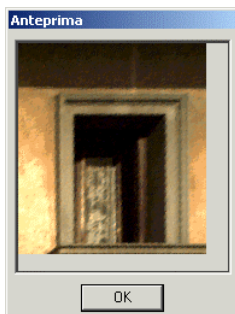
fig.10

Prima di procedere nel raddrizzamento dell'immagine l'operatore può controllare la bontà dei dati inseriti cliccando prima sul bottone *Anteprima* e poi su un generico punto dell'immagine. La porzione di immagine su cui è stato effettuato il secondo clic verrà quindi mostrata in una finestra a parte, in modo che l'operatore possa giudicare, anche per osservazione diretta, se i dati sono attendibili o meno. Un esempio di anteprima dell'immagine riportata in fig.06 è mostrata in fig.10.
A questo punto posso procedere alle successive fasi del raddrizzamento premendo prima il bottone *OK* di fig.10.
Se l'operatore si accorge che i dati inseriti non sono corretti è possibile cambiare le collimazioni effettuate eseguendone di nuove al posto di quelle effettuate. In più cliccando ripetutamente sui bottoni *Orizzontale* e *Verticale*, quando la finestra di blow-up è aperta vengono mostrati all'operatore le collimazioni eseguite in precedenza. In più è possibile cambiare dinamicamente il rapporto X/Y impostato fino al momento in cui l'operatore non si ritenga soddisfatto dei risultati ottenuti.
Successivamente premendo il bottone *OK* di fig.09 si accettano i valori impostati ed è possibile proseguire nella procedura di raddrizzamento dell'immagine. Tutte le informazioni così acquisite saranno salvate su un file interno.

La finestra di impostazione dei parametri per il raddrizzamento geometrico, fig.04, si chiude per mezzo della pressione del bottone *OK*.
Dopo aver eseguito queste operazioni è possibile visualizzare un'anteprima ridotta di come sarà l'immagine raddrizzata. Selezionando dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui *Anteprima* appare nella barra delle informazioni, in basso alla finestra di lavoro, il messaggio "*Individuare la zona da raddrizzare*" eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse in corrispondenza del particolare da visualizzare si apre la finestra di fig.10. In questa situazione il programma per continuare è vincolato alla chiusura di questa finestra tramite la pressione del bottone *OK*.
L'ultima operazione che occorre effettuare prima di passare al raddrizzamento dell'immagine è la scelta del rapporto di scala a cui si vuole che la foto debba essere riportata. Questa operazione si rende necessaria perché nella foto originale ci sono zone che hanno scala diversa a seconda del punto di presa dell'immagine. Durante il processo di raddrizzamento queste zone dovranno, in qualche modo essere ottimizzate. Ci saranno parti in cui l'informazione è in eccesso, ed in queste parti avremo uno scarto dell'informazione, e zone in cui l'informazione dovrà essere interpolata perché mancante basandosi sui pixel esistenti. Alla luce di queste nozioni si intuisce che il rapporto di scala che l'utente di Archis 2D può scegliere è un rapporto di scala compreso tra il valore massimo ed il valore minimo dei rapporti di scala presenti sull'immagine originale.
Per selezionare il rapporto di scala, scegliere dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui *Scala*, nella barra delle informazioni comparirà il messaggio "*Individuare la zona a scala media*", la selezione sarà effettuata automaticamente eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse direttamente sull'immagine originale la dove l'operatore ritiene opportuno.
Con quest'ultima operazione si sono concluse le operazioni e si può passare alla fase vera e propria del raddrizzamento dell'immagine selezionando dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui la voce *Raddrizzamento*. Nella finestra di lavoro comparirà la finestra di dialogo riportata in fig.11 all'interno della quale è possibile selezionare le opzioni per il raddrizzamento dell'immagine. Le due opzioni riguardano:

fig.11

- la prima, la zona su cui operare il raddrizzamento. E' infatti possibile, attivando la prima opzione selezionare di tutta l'immagine originale, solo una parte su cui andare ad effettuare il raddrizzamento. Questa opzione è stata introdotta per ridurre le dimensioni delle fotografie e conseguentemente l'occupazione dello spazio su disco.
- La seconda, concerne il ricampionamento dell'immagine in quei punti in cui partendo dall'informazione disponibile dovremo incrementare i dati a disposizione. Se nella finestra di fig.11 non viene attivata l'opzione *Ricampionamento bilineare*, il ricampionamento dell'immagine è di tipo lineare.

Premendo il bottone *OK* si chiude la finestra di fig.11 e si attiva la finestra di fig.12 in cui l'operatore deve selezionare il nome del file su cui sarà salvata l'immagine raddrizzata. In questa finestra sono altresì presenti informazioni che riguardano la dimensione, espressa in pixel, dell'immagine che sarà creata.

fig.12

La pressione del bottone *OK* di questa finestra darà inizio al processo di raddrizzamento. Durante questa fase l'operatore non può eseguire nessun'altra operazione, se non interrompere il processo premendo il tasto **Interrompi** nella finestra che si è aperta all'inizio del processo. Tre indicatori di flusso fanno capire che l'operazione sta procedendo sono:

- Un numero, che esprime la percentuale di lavoro che è stata eseguita.
- Una progress bar che ci mostra l'evoluzione del processo.
- Un timer che ci dà indicazioni del tempo residuo al termine dell'operazione.

Quando il processo di raddrizzamento dell'immagine è terminato, l'immagine raddrizzata, viene automaticamente aperta nella finestra di lavoro e disposta affiancata all'immagine originale. In questa fase sulle due immagini non è possibile eseguire nessuna operazione, se non operazioni di zoom. Per poter agire su una delle due immagini occorre chiudere le immagini e riaprirle.

IL RADDRIZZAMENTO PER VIA ANALITICA

E' possibile attivare questa procedura se dal menù principale scegliamo la voce *Raddrizzamento* e da qui la voce *Omografia*. Si apre un ulteriore sotto menù all'interno del quale dovremo scegliere la voce *Analitico*, questa voce è attiva solo quando nell'ambiente di lavoro è stata aperta un'immagine. Il programma mostra la finestra di fig.13.
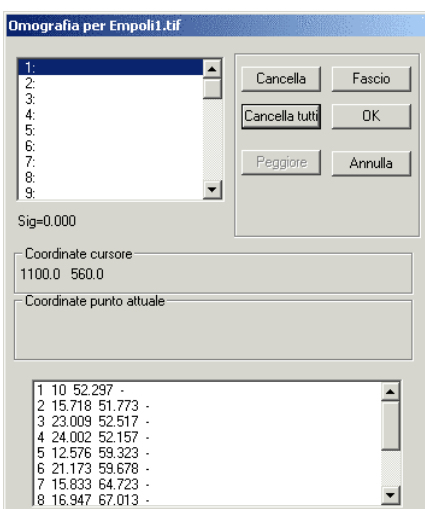
fig.13

Utilizzando questa finestra è possibile associare all'immagine, aperta nell'ambiente di lavoro, i punti di appoggio misurati e riportati nel file. In questa fase l'elenco dei punti di appoggio è riportato nella lista in basso di fig.13.

La procedura da seguire è semplice. Occorre per prima cosa selezionare dalla lista in basso uno dei punti riportati (coordinate oggetto), e poi collimarlo sull'immagine (coordinate immagine). Dopo aver individuato il punto dalla lista dei punti di appoggio, accanto ad esso compare una lettera "O". Quando il punto sarà stato collimato compare la lettera "C" accanto alla precedente ad indicare che quel punto è già stato collimato. La collimazione è quindi l'instaurazione di una relazione tra coordinate oggetto e coordinate immagine. Nella finestra di fig.13 possiamo osservare che nello spazio compreso tra le due liste sono presenti due cornici testo. Nella prima, *Coordinate cursore*, comparirà istante per istante le coordinate attuali del cursore, queste coordinate saranno espresse in pixel fino a che l'immagine non sarà stata georeferenziata. Nella seconda, *Coordinate punto attuale*, vengono riportati i codici e le coordinate del punto di appoggio selezionato, e quando questo sarà stato individuato sull'immagine verranno riportate le coordinate pixel del punto corrispondente sull'immagine. Dopo aver collimato il primo punto la selezione passa automaticamente al secondo punto della lista, occorre quindi ripetere le operazioni descritte per collimare tutti i punti che possono essere individuati sull'immagine sulla quale l'operatore sta lavorando. Durante la collimazione dei punti è possibile servirsi della finestra di blow-up per individuare con maggiore precisione i punti. Dopo la collimazione del quarto punto, automaticamente nella lista in alto compaiono gli scarti di collimazione di ciascun punto, scarti espressi in metri, se questa è l'unità di misura utilizzata per riportare le coordinate oggetto all'interno del file dei punti di controllo. La collimazione del quinto punto e dei successivi avviene quasi in modalità automatica, infatti quando l'operatore seleziona dalla lista dei punti di appoggio il punto successivo che deve essere collimato, il programma mostra nella finestra di blow-up il punto esatto in cui si aspetta che venga collimato. L'operatore può confermare o associare il punto selezionato ad un altro punto dell'immagine. Nel momento in cui il punto è stato collimato, automaticamente tutti gli scarti vengono ricalcolati e la lista aggiornata in tempo reale.
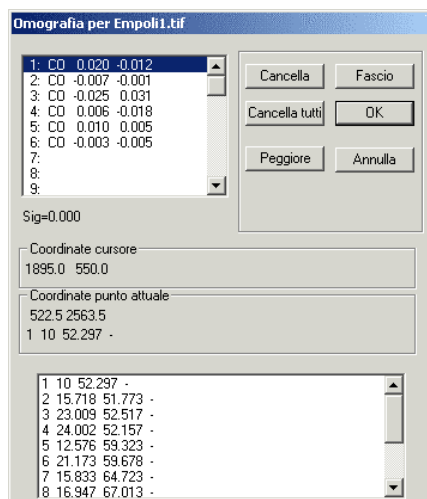
fig.14

Quando sono stati collimati tutti i punti a disposizione la finestra di fig.13 si sarà trasformata nella finestra di fig.14. Utilizzando i bottoni presenti in figura è possibile compiere alcune operazioni sui punti che sono stati collimati. *Cancella* permette di annullare la collimazione che in quel momento è attivata nella lista in alto. *Cancella tutti* annulla tutte le collimazioni che sono state eseguite, in questo caso viene richiesta conferma dell'operazione che stiamo per eseguire. *Peggiore* mostra quale tra le collimazioni che sono state eseguite è quella che ha gli scarti più grossi. E' possibile, dopo aver

individuato il punto peggiore, vedere come variano le cose quando questo punto non è preso in considerazione. Infatti è possibile sospendere un punto di collimazione eseguendo un doppio clic con il mouse in coincidenza di quel punto sulla lista.

fig.15

Dopo l'esecuzione del doppio clic al posto del punto compare un asterisco e gli scarti vengono ricalcolati e aggiornati in tempo reale all'interno della lista.
Quel punto può essere riattivato eseguendo un ulteriore doppio clic del mouse. Il bottone *Fascio* riporta sull'immagine originale il fascio delle rette verticali ed orizzontali così come mostrato in fig.15. *OK* salva le collimazioni che abbiamo fatto scrivendole in un file che ha estensione ORI e chiude la finestra di dialogo, *Annulla* chiude la finestra ma non tiene memoria delle collimazioni che abbiamo eseguito.
Dopo aver eseguito queste operazioni è possibile visualizzare un'anteprima ridotta di come sarà l'immagine raddrizzata. Selezionando dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui *Anteprima* appare nella barra delle informazioni, in basso alla finestra di lavoro, il messaggio "*Individuare la zona da raddrizzare*" eseguendo un clic con il tasto destro del mouse in corrispondenza del particolare da visualizzare si apre la finestra di fig.16. In questa situazione il programma per continuare è vincolato alla chiusura di questa finestra tramite la pressione del bottone *OK*.
L'ultima operazione che occorre effettuare prima di passare al raddrizzamento dell'immagine è la scelta del rapporto di scala a cui si vuole che la foto debba essere riportata. Questa operazione si rende necessaria perché nella foto originale ci sono zone che hanno scala diversa a seconda del punto di presa dell'immagine.
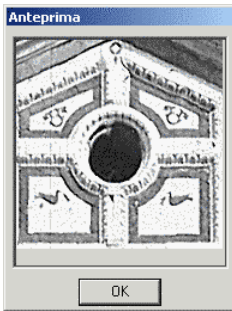
fig.16

Durante il processo di raddrizzamento queste zone dovranno in qualche modo essere ottimizzate, ci saranno parti in cui l'informazione è in eccesso, ed in queste parti avremo uno scarto dell'informazione, e zone in cui l'informazione sarà interpolata perché mancante basandosi sui pixel esistenti per supplire ai dati mancanti. Alla luce di queste nozioni si capisce che il rapporto di scala che l'utente di Archis 2D può scegliere è un rapporto di scala compreso tra il valore massimo ed il valore minimo dei rapporti di scala presenti sull'immagine originale.
Per selezionare il rapporto di scala, scegliere dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui *Scala*, nella barra delle informazioni comparirà il messaggio "*Individuare la zona a scala media*", la selezione sarà effettuata automaticamente eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse direttamente sull'immagine originale là dove l'operatore ritiene opportuno.
Con quest'ultima operazione si sono concluse le operazioni preliminari e si può passare alla fase vera e propria del raddrizzamento dell'immagine selezionando dal menù principale la voce *Raddrizzamento* e da qui la voce *Raddrizzamento*. Nella finestra di lavoro comparirà la finestra di dialogo riportata in fig.11 all'interno della quale è possibile selezionare le opzioni per il raddrizzamento dell'immagine. Le due opzioni riguardano:

- la prima, la zona su cui operare il raddrizzamento. E' infatti possibile, attivando la prima opzione selezionare di tutta l'immagine originale, solo una parte su cui andare ad effettuare il raddrizzamento. Questa opzione è stata introdotta per ridurre le dimensioni delle fotografie e conseguentemente l'occupazione dello spazio su disco.
- La seconda, concerne il ricampionamento dell'immagine in quei punti in cui partendo dall'informazione disponibile dovremo incrementare i dati a disposizione. Se nella finestra di fig.11 non viene attivata l'opzione *Ricampionamento bilineare*, il ricampionamento dell'immagine è di tipo lineare.

Premendo il bottone *OK* si chiude la finestra di fig.11 e si attiva la finestra di fig.12 all'interno della quale l'operatore deve selezionare il nome del file su cui sarà salvata l'immagine raddrizzata. In questa finestra sono altresì presenti informazioni che riguardano la dimensione, espressa in pixel, dell'immagine che sarà creata.
La pressione del bottone *OK* di questa finestra darà inizio al processo di raddrizzamento. Durante questa fase l'operatore non può eseguire nessun'altra operazione, se non interrompere il processo premendo il tasto *Interrompi* nella finestra che si è aperta all'inizio del processo. Tre indicatori di flusso fanno capire che l'operazione sta procedendo sono:

- Un numero, che esprime la percentuale di lavoro che è stata eseguita.
- Una progress bar che ci mostra l'evoluzione del processo.
- Un timer che ci dà indicazioni del tempo residuo al termine dell'operazione.

Quando il processo di raddrizzamento dell'immagine è terminato, l'immagine raddrizzata, viene automaticamente aperta nella finestra di lavoro e disposta affiancata all'immagine originale. In questa fase sulle due immagini non è possibile eseguire nessuna operazione, se non operazioni di zoom. Per poter agire su una delle due immagini occorre chiudere le immagini e riaprirle.

2.10.4 TAGLIO

La procedura di taglio è un'operazione che ci permette, oltre che a ridurre l'occupazione di spazio su disco, di rintracciare all'interno dell'immagine una linea preferenziale di riattacco di due immagini, tagliando l'immagine lungo questa linea si avrà un risultato migliore nella mosaicatura delle immagini.
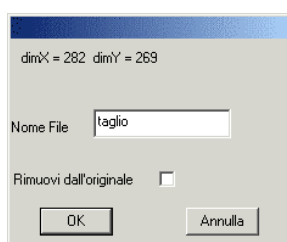
fig.17

Un'immagine può essere tagliata sia prima che dopo la procedura di raddrizzamento della stessa. La procedura di taglio si attiva selezionando dal menù principale la voce *Utility* e da qui *Taglio*, dopo che nella finestra di lavoro è stata aperta l'immagine da ritagliare. Nella barra dei commenti comparirà il messaggio "*Acquisire la poligonale di taglio*". Il programma è già impostato in modalità acquisizione, l'operatore dovrà quindi individuare con il cursore del mouse i punti per cui deve passare la poligonale di taglio, eseguendo un clic con il tasto sinistro del mouse in corrispondenza di ogni punto. Dopo aver individuato il primo punto un segmento "elastico" mostrerà all'operatore la direzione che lega il primo punto scelto con il cursore del mouse. Nel momento in cui anche il secondo punto sarà stato individuato viene disegnato sul video un segmento che unisce i due punti. Quando sono stati segnati tutti i punti è possibile chiudere la poligonale premendo sulla tastiera del computer la lettera *C*. Automaticamente compare la finestra di fig.17. In questa finestra possiamo leggere informazioni riguardanti la dimensione in pixel dell'immagine che sarà creata, indicare il nome del file in cui deve essere salvata l'immagine ritagliata, ed indicare se questa deve essere rimossa dall'originale oppure no. Nel caso in cui si attivi la casella "*Rimuovi dall'originale*", l'immagine originale presenterà una zona nera là dove prima del taglio era presente il dettaglio dell'immagine. Nel caso in cui questa casella non venga attivata il programma crea un file con copia del dettaglio dell'immagine. Premendo il bottone *OK* si accettano tutte le opzioni impostate e si dà inizio al processo. Anche in questo caso saranno presenti i tre indicatori di stato del programma. E' possibile in ogni istante interrompere l'operazione a cui abbiamo dato inizio premendo il bottone *Interrompi* nella finestra che si attiva al momento dell'inizio della procedura di taglio.

2.10.5 MOSAICATURA

Il processo di mosaicatura è quello che permette di ricostruire l'immagine originale partendo da una serie di fotografie che rappresentano parte dell'oggetto. Nel caso in cui il raddrizzamento sia stato eseguito per via geometrica, la mosaicatura deve essere effettuata in due diverse sessioni di lavoro:

- Collimazione di punti omologhi.
- Unione di due o più fotogrammi.

Se il raddrizzamento è stato eseguito seguendo la via analitica, il procedimento di unione delle immagini è diretto. In questo caso la fase di collimazione dei punti omologhi può essere saltata, perché le immagini sono state georeferenziate durante la procedura di raddrizzamento, quindi il programma è in grado di affiancarle correttamente.

COLLIMAZIONI DI PUNTI OMOLOGHI
E' l'operazione che permette al programma di capire come due immagini devono essere tra loro riunite. La collimazione di punti omologhi consiste nell'individuare su due immagini diverse i punti a comune. Si accede a questa procedura scegliendo dal menù principale la voce *Utility* e da qui *Collimazioni*. La voce di menù si attiva solo ed esclusivamente nel momento in cui nell'area di lavoro sono state aperte due immagini.
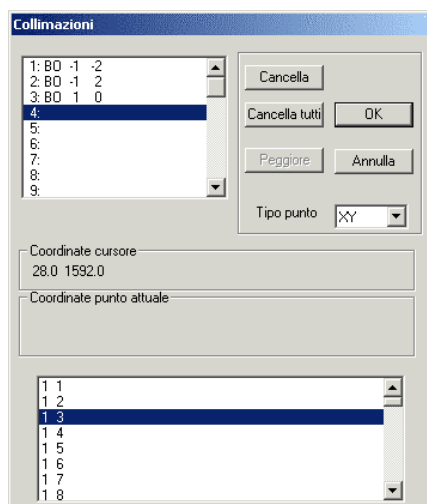
fig.18

La procedura è attivata nel momento in cui appare nell'area di lavoro la finestra di fig.18 che guida l'operatore nella collimazione dei punti.
Ogni punto prima di essere collimato su una delle due immagini deve essere indicizzato. Questa procedura è necessaria perché un punto può essere utilizzato come collimazione per le due immagini aperte al momento, ma anche come punto di riferimento che sarà collimato su un'immagine successiva. L'indicizzazione di un punto la si esegue prima ancora di scegliere il punto sull'immagine. La procedura di collimazione dei punti segue il seguente schema:

- Individuazione del codice di riferimento tramite selezione dello stesso dalla lista posta in basso di fig.18.
- Individuazione di un punto a comune tra le due immagini sulla prima immagine aperta.
- Individuazione dello stesso punto sulla seconda immagine aperta.
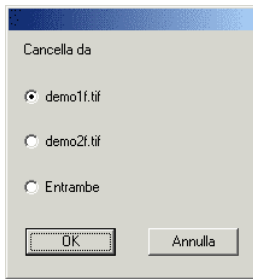
fig.19

Se l'operatore va a collimare un punto sulla prima immagine, senza aver prima selezionato un codice, comparirà un messaggio di errore, che avverte l'operatore dell'inesattezza nel processo.
Se l'operatore va a collimare un punto sulla seconda immagine, senza che lo abbia collimato sulla prima, comparirà un messaggio di errore che lo avverte dell'inesattezza del processo.
Utilizzando i bottoni situati in alto a destra della finestra è possibile effettuare alcune operazioni sui punti collimati.
Cancella permette la cancellazione di una collimazione quando questa è evidenziata nella lista in alto a sinistra, *Cancella tutti* annulla tutte le collimazioni effettuate, dopo la pressione del bottone si attiva la finestra di fig.19 in cui si chiede all'operatore se le collimazioni devono essere cancellate da tutte e due le finestre o da una sola e in quel caso da quale. La pressione del bottone *OK* produce l'effetto desiderato di cancellazione, viceversa con *Annulla*.
Per ottenere la sovrapposizione delle due immagini occorre individuare almeno due punti a comune. Dopo la collimazione del secondo punto nella lista in alto a sinistra iniziano a comparire gli scarti espressi in pixel. Utilizzando il bottone *Peggiore*, che si accende solo dopo la collimazione del terzo punto, (con due soli punti gli scarti sono a zero), è possibile stabilire quale tra i punti collimati sia il peggiore in assoluto. Un punto può essere momentaneamente sospeso dal calcolo degli scarti e dalle collimazioni quando, in corrispondenza del punto nella lista in alto di fig.18, si esegue un doppio clic del mouse. Dopo la sospensione del punto gli scarti vengono ricalcolati ed aggiornati in tempo reale. Il punto può essere riattivato, sempre eseguendo un doppio clic del mouse.
La casella *Tipo punto* permette all'operatore di indicare al programma se il punto collimato ha coordinate significative XY, oppure solo X o ancora solo Y. Nel momento in cui selezioniamo XY nella lista in alto compaiono i risultati per entrambe le coordinate. Se un punto ha coordinata Y fissata ma la X non può in nessun modo essere vincolata, occorre selezionare *Tipo punto* **Y**, compariranno scarti solo per la coordinata Y, ed il programma in questo caso libera la coordinata X. Stesso ragionamento può essere fatto per la coordinata X fissata e coordinata Y variabile.
Nelle caselle testo poste nel mezzo alla finestra compaiono le coordinate del cursore espresse in pixel, che si aggiornano istantaneamente al movimento del mouse, nella finestra *Coordinate cursore*, e le coordinate, i codici di riferimento ed il tipo di punto nella finestra *Coordinate punto attuale*.
Premendo il bottone *OK* si accettano le collimazioni eseguite e si registrano in un file interno, premendo *Annulla* si chiude la finestra dimenticando le collimazioni effettuate.
L'operazione di collimazione dei punti può essere eseguita solo su foto che siano già state raddrizzate. Il programma è stato istruito a riconoscere per questa operazione solo foto di questo tipo.
L'operazione di collimazione dei punti si esegue solo nel caso in cui la foto raddrizzata sia stata ottenuta tramite raddrizzamento di tipo geometrico. Nel caso di raddrizzamento di foto per via analitica non importa in quanto la foto

viene georeferenziata al momento della collimazione dei punti di appoggio fotografici.

UNIONE (MOSAICATURA)
La mosaicatura è il procedimento finale che porta alla ricostruzione dell'immagine originale, per mezzo dell'unione di due o più fotogrammi che ritraggono parte dell'oggetto reale. Si accede a questa operazione se dal menù principale selezioniamo la voce *Mosaico* e da qui *Unione*. Il programma ci mostra la finestra di fig.20.
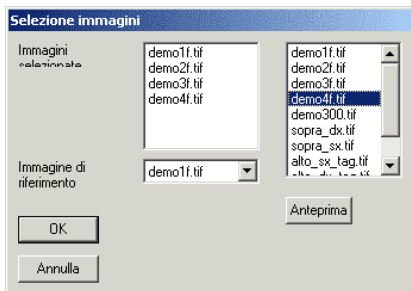
fig.20

In questa finestra sono presenti due liste, in quella a destra è mostrato l'elenco totale delle immagini che l'operatore può utilizzare per effettuare il mosaico, mentre a sinistra compaiono i nomi dei file che sono stati selezionati dall'operatore. La selezione viene eseguita sia con un doppio clic in corrispondenza del nome del file che vogliamo selezionare, sia premendo il bottone *Anteprima*. In questo secondo caso il programma mostrerà una finestra all'interno delle quale sono presenti tutte le miniature delle immagini selezionabili. All'interno di questa finestra sarà possibile scegliere le immagini di interesse. La scelta delle immagini deve essere eseguita facendo attenzione al fatto che la prima immagine selezionata è quella che ha la priorità più alta. Maggiore priorità di una foto sull'altra significa che nella foto mosaicata i particolari a comune deriveranno dalla foto che ha priorità maggiore. E' come dire che delle due foto quella che ha priorità maggiore viene mosaicata sovrapponendola a quella con priorità inferiore. Quindi nel momento in cui l'operatore seleziona le foto deve ricordarsi che l'ordine con cui le seleziona determina il livello di priorità. Nella finestra di fig.20 è presente una casella testo che porta il nome *Immagine di riferimento*. In questa casella deve essere selezionato il nome dell'immagine che l'operatore desidera utilizzare come immagine di riferimento. Quando l'operatore sceglie le immagini da riunire, per default il programma imposta come immagine di riferimento la prima immagine selezionata, è sempre possibile variare la scelta, eseguendo un clic sulla freccia si accede ad una lista delle immagini selezionate dalle quali è possibile selezionare l'immagine desiderata. L'immagine di riferimento è l'immagine che all'interno della foto mosaicata determinerà la densità di informazioni del mosaico, ovvero le dimensioni in pixel dello stesso. Premendo il tasto *OK* si avanza nel processo di mosaicatura, con il tasto *Annulla* si abortisce l'operazione. Dopo la pressione del tasto *OK* si accede ad una finestra analoga a quella di fig.12 in cui l'operatore ha indicazioni della dimensione in pixel dell'immagine, e all'interno della quale deve indicare al programma il nome del file su cui andare a salvare l'immagine. La pressione del tasto *OK* presente in questa finestra dà inizio al processo vero e proprio di mosaicatura, durante il quale nella barra posta in basso della finestra di lavoro si attivano i tre indicatori di flusso, valore percentuale del lavoro svolto, progress bar che indica l'avanzamento del lavoro e timer del tempo residuo. Se al momento della pressione del bottone *OK* di fig.20 le foto che l'operatore ha selezionato per

la mosaicatura non sono tra loro accoppiate comparirà su video un messaggio di errore che notifica questa mancanza.
Al termine del processo viene aperta su video l'immagine totale, sulla quale è possibile compiere solo operazione di zoom.

2.11 PHOTO-EDITING DEL FOTOPIANO

2.12 SCALARE E VETTORIALIZZARE IL FOTOPIANO

2.13 LA PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

2.14 ESEMPI E CONCLUSIONI

2.15 APPROFONDIMENTO: PROGETTARE IL FOTOPIANO

È possibile programmare il rilievo necessario per la realizzazione del fotopiano attraverso alcuni calcoli ed avendo cura di modificare le variabili a disposizione per ottenere un risultato che risponda alla esigenze di rappresentazione preposte.

PROGETTARE LE RIPRESE: ANGOLO DI CAMPO E DISTANZA DAL SOGGETTO
La distanza di presa, l'attrezzatura fotografica utilizzata e il campo inquadrato da ogni presa fotografica sono tutte variabili fondamentali per la progettazione del rilievo poiché tramite la regolazione di questi parametri è possibile progettare il numero di scatti necessari e la loro posizione garantendo l'intera copertura delle aree di interesse.
L'angolo di campo è determinato dall'ottica e dal formato della pellicola, questo può essere desunto facilmente da tabelle tecniche o può essere calcolato con il metodo di seguito illustrato.
Detto "l" il lato netto del formato della pellicola espresso in millimetri, ed "f" la focale dell'ottica impiegata, (sempre espressa in millimetri), si ha la seguente che fornisce l'angolo di campo:

$$\beta = 2 \times \operatorname{arctg}\left(\frac{l/2}{f}\right)$$

si assume che il formato del negativo sia quadrato e che per lato netto si intenda la sola porzione della pellicola che viene impressionata.
Per comprendere la formula esposta si faccia riferimento allo schema grafico di figura seguente.
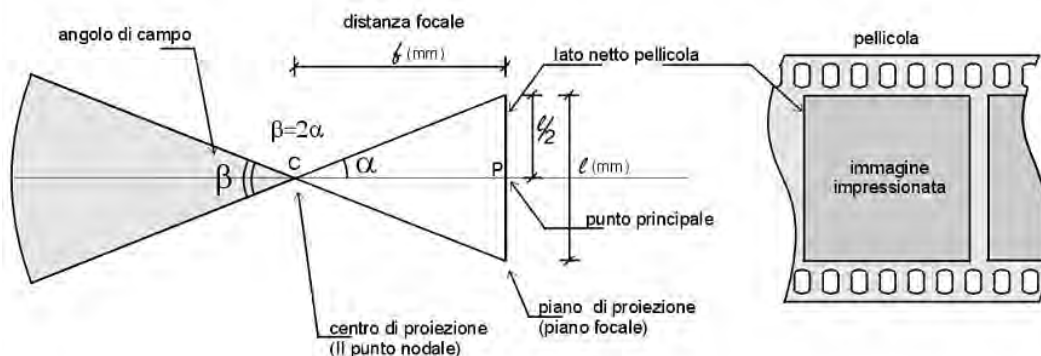
fig.01 - schema che illustra una presa fotografica

Applicando ad uno dei due triangoli rettangoli con in comune il lato CP la relazione trigonometrica secondo la quale un cateto è uguale all'altro cateto per la tangente dell'angolo opposto si giunge alla formulazione di cui sopra per ottenere il valore di $2\alpha=\beta$.

$$c = c^1 \operatorname{tg}\alpha; \Rightarrow \operatorname{tg}\alpha = \frac{c}{c^1}; \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{c}{c^1}\right)$$

Per quanto esposto risulta che si abbia, a parità di formato della pellicola, un diverso angolo di campo al variare della focale dell'ottica impiegata. Segue uno schema di riferimento valido per pellicole 35mm in cui viene mostrato l'entità di dette variazioni. Tuttavia lo schema sotto riportato, tratto da testi di fotografia, è stato calcolato sulla diagonale del formato netto di un 35mm, (invece che sul lato minore), ed è, per questo motivo, sovra-stimato ai fini delle prese fotogrammetriche.
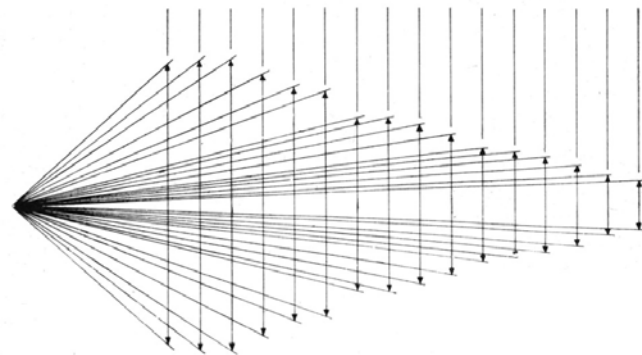
fig.02 - angoli di campo al variare della lunghezza focale per formato 35mm

Si ricorda che il formato netto di una pellicola 35mm misura mm 24×36 e la diagonale di questo corrisponde a:

$$\sqrt{24^2+36^2} \cong 43\,\text{mm}$$

Segue una tabella completa dove vengono forniti gli angoli di campo al variare sia delle varie focali sia del lato netto del formato utilizzato. Fra le focali proposte compaiono quelle più comunemente diffuse in commercio, e fra i formati proposti vi sono più valori relativi ai seguenti formati di cui si riporta le misure lorde e quelle nette:

formato 35mm	mm 24×36	diagonale mm 43
formato 6×6	mm 55×60	
formato 6×7	mm 55×70	
formato 6×9	mm 55×90	

I valori in tabella per gli angoli di campo sono espressi in gradi; è necessario considerare due valori per formati rettangolari, oppure utilizzare il lato minore che, in quanto tale, garantirà la completa copertura anche per il maggiore.

	formati (mm): lato netto						
focali (mm)	**24**	**36**	**43**	**55**	**60**	**70**	**90**
21	59,5	81,2	91,3	105,3	110,0	118,1	130,0
25	51,3	71,5	81,4	95,5	100,4	108,9	121,9
28	46,4	65,5	75,0	89,0	93,9	102,7	116,2
35	37,8	54,4	63,1	76,3	81,2	90,0	104,3
45	29,9	43,6	51,1	62,9	67,4	75,7	90,0
50	27,0	39,6	46,5	57,6	61,9	70,0	84,0
85	16,1	23,9	28,4	35,9	38,9	44,8	55,8
90	15,2	22,6	26,9	34,0	36,9	42,5	53,1
105	13,0	19,5	23,1	29,4	31,9	36,9	46,4
135	10,2	15,2	18,1	23,0	25,1	29,1	36,9
180	7,6	11,4	13,6	17,4	18,9	22,0	28,1
200	6,9	10,3	12,3	15,7	17,1	19,9	25,4
250	5,5	8,2	9,8	12,6	13,7	15,9	20,4
300	4,6	6,9	8,2	10,5	11,4	13,3	17,1
400	3,4	5,2	6,2	7,9	8,6	10,0	12,8
500	2,7	4,1	4,9	6,3	6,9	8,0	10,3

tab. 01 - angoli di campo al variare delle focali e dei formati

Una volta determinato l'angolo di campo dell'attrezzatura di ripresa è possibile programmare gli scatti nel loro numero e posizione poiché, data una certa distanza dal soggetto, è nota la superficie che viene inclusa nel fotogramma. La formula che consente questo calcolo sfrutta la medesima relazione trigonometrica di quella vista precedentemente:

$$c = 2d \cdot tg\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

dove "c" espresso in metri indica il lato del campo ripreso in funzione della distanza "d" (sempre in metri), come si può anche osservare in figura seguente.
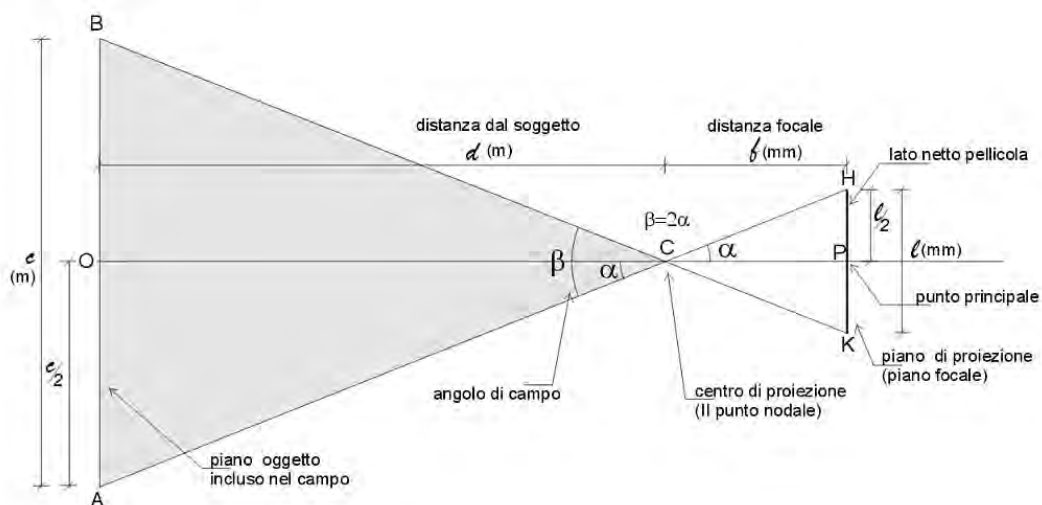
fig.03 - schema completo di ripresa

È bene ricordare che quanto sopra ha senso solo se il soggetto ripreso è un piano e se la ripresa è realizzata con la pellicola parallela a detto piano. Qualora la ripresa sia lievemente inclinata rispetto al piano avremo comunque realizzato un calcolo indicativo ma che garantirà la completa copertura delle aree di interesse (visto che a maggior inclinazione corrisponde maggior campo).

Al fine di semplificare i calcoli di cui sopra, prescindendo dall'angolo di campo, è possibile impostare anche una semplice similitudine fra i triangoli AOC e CHP, (in quanto triangoli rettangoli con un angolo opposto al vertice). È possibile pertanto formulare la seguente proporzione:

$$\frac{c}{2} : \frac{l}{2} = d : f \Rightarrow c = \frac{l \cdot d}{f}$$

ACQUISIRE LE IMMAGINI: RISOLUZIONE INTRINSECA DEL RILIEVO

Ipotizzando di aver elaborato un progetto preliminare del rilievo, in base alle considerazioni sopra esposte, e di aver determinato la posizione ed il numero di prese necessarie alla copertura del soggetto in funzione di una certa distanza, dovremmo adesso verificare se ciò conduce ad una risoluzione di misura soddisfacente per il rilievo che si vuole produrre. In altre parole è necessario verificare quale sia il più piccolo elemento che possiamo vedere, (e quindi misurare), nelle prese fotografiche: aspetto questo fondamentale, visto che determinerà la risoluzione, (o precisione), intrinseca della restituzione.

A tal fine la prima operazione da fare è quella di calcolare la scala di riproduzione, ovvero il rapporto dimensionale che lega una grandezza ripresa rispetto alla corrispondente immagine impressa sulla pellicola.
Questa sarà data dal seguente rapporto, (sempre assumendo che il piano della pellicola sia pressoché parallelo al piano oggetto):

$$\text{scala} = \frac{c}{l}$$

dove "c" ed "l" sono le grandezze già illustrate ma espresse nella medesima unità di misura. Vediamo un esempio numerico: se ipoteticamente avessimo un lato netto pellicola di l=36mm, (pari al lato maggiore di un formato 35mm), montando una focale f di 50mm avremmo, ad una distanza dal soggetto di 10m, un campo di presa c=7.2m. Nelle citate condizioni la scala di rappresentazione sarebbe c/l = m7.2/m0.036 = 200 ovvero sulla pellicola avremmo una rappresentazione in scala 1:200 del piano ripreso.

Qualora si abbia una inclinazione significativa del piano della pellicola rispetto al piano fotografato allora si ricorre al concetto di scala media di rappresentazione: ovvero si prende in considerazione la misura di un elemento di dimensioni note, appartenente al piano, che si trovi mediamente rappresentato nella vista prospettica: ovvero né troppo lontano né troppo vicino. Si andrà poi a misurare sulla pellicola le dimensioni di detto elemento e se ne ricaverà la scala di rappresentazione ottenendo un valore approssimativo, (questa valutazione è possibile su scatti di prova appositamente realizzati o con calcoli geometrici che tengano conto dell'inclinazione).

Terminata questa operazione si procede alla determinazione di una nuova variabile estremamente importante per gestire la risoluzione del rilievo: la risoluzione di acquisizione della pellicola, (il metodo vale anche nel caso si faccia un'acquisizione di stampe salvo doversi riferire alle dimensioni dell'ingrandimento realizzato dalla pellicola).
La risoluzione di acquisizione viene misurata in dpi (dots per inch = punti per pollice), e, noto il valore del pollice in millimetri, (1inch = cm2.54 = mm25.4), è possibile ricavare la corrispondenza fra le dimensioni del supporto ed il punto acquisito al variare della risoluzione; detto punto poi corrisponderà al pixel dell'immagine digitale che verrà elaborata per produrre il fotopiano.
Segue una tabella che correla le risoluzioni di acquisizione alle dimensioni in micron, (1µ = mm 0.001), di un punto del supporto acquisito.

dpi	micron (µ)
75	339
150	169
200	127
250	102
300	85
350	73
400	64
450	56
500	51
550	46
600	42

dpi	micron (µ)
650	39
700	36
750	34
800	32
850	30
900	28
950	27
1.000	25
1.100	23
1.200	21
1.300	20

dpi	micron (µ)
1.400	18
1.500	17
1.600	16
1.700	15
1.800	14
1.900	13
2.000	13
2.200	12
2.400	11
2.600	10
2.800	9

tab.02 - dimensioni del punto di acquisizione al variare della risoluzione in dpi

La tabella precedente è stata ricavata dividendo la misura del pollice per il numero dei punti per pollice:

$$\frac{\text{inch}}{\text{dpi}} = \frac{\text{mm}25.4}{\text{dpi}} \Rightarrow \text{esempio}: \frac{25.4}{1800\text{dpi}} = 0.014 = 14\mu$$

Questi valori in micron rappresentano la dimensione del più piccolo elemento di pellicola che viene acquisito alla corrispondente risoluzione.
Ma allora moltiplicando questo valore per la scala di rappresentazione, (rapporto di scala fra oggetto reale e corrispondente immagine su pellicola), avremo le dimensioni del più piccolo elemento reale che potremmo distinguere sul fotopiano.

Esaminiamo un esempio numerico completo per comprendere a fondo il significato di quanto sopra:
Poniamo di avere un rapporto di scala fra oggetto e pellicola nell'ordine di 1:200, (come nell'esempio precedente), se acquisiamo la pellicola alla risoluzione di 1200 dpi avremo che un pixel immagine corrisponderà ad un "quadratino" della pellicola di lato pari a 21 micron che a sua volta corrisponde ad un quadrato sull'oggetto reale con il lato pari a 21micron×200 ovvero a mm0.021×200=mm4.2. Pertanto non sarà possibile nel fotopiano finale né vedere né tantomeno misurare elementi più piccoli di mm4.2 dell'oggetto reale e questa sarà l'incertezza intrinseca del rilievo che comunque non potrà migliorare con l'aumentare della precisione di battitura delle coordinate dei punti di appoggio.

Gli unici metodi per diminuire l'incertezza intrinseca del fotopiano sono basati sulla ottimizzazione delle variabili fin qui analizzate. Bisogna comunque tenere conto degli accorgimenti qui di seguito esposti.

Se aumentare la risoluzione di acquisizione porta facilmente a diminuire le dimensioni del più piccolo elemento visualizzabile, bisogna tener presente che è inutile spingere l'acquisizione oltre le effettive dimensioni della grana del supporto poiché in tal caso le informazioni saranno interpolate ovvero saranno fittizie. La grana di una pellicola molto lenta, (ASA basso), di elevatissima qualità, in bianco e nero, per prese fotogrammetriche da aereo può anche raggiungere la dimensione di 4 micron ma ordinarie pellicole a colori hanno una grana molto più grande, (da prove sperimentali approssimative ca. 15-25 micron). Si tenga presente che le case produttrici sono restie a rendere pubblici questi dati, e la Kodak, interpellata sulla questione, ha inspiegabilmente risposto che tali informazioni sono protette da segreto industriale.

Si nota inoltre che diminuendo la distanza di presa aumenta la risoluzione del rilievo. Si osserva in particolare che dimezzando la distanza di presa si raddoppia la scala fra oggetto e presa fotografica e si dimezza l'incertezza del rilievo. Tuttavia raddoppiare la scala significa anche quadruplicare il lavoro di rilievo in termini di numero di prese fotografiche e di punti di appoggio poiché, dimezzando la distanza di presa, saranno necessari ben quattro fotogrammi per coprire la superficie che copriva l'immagine originaria, (un quadrato con lato l/2 ha un'area pari $l^2/4$).

La strategia più valida per aumentare la risoluzione del rilievo è quella di operare con pellicole di formato più grande: si ha una maggiore leggibilità contenendo il numero degli scatti.

STAMPARE I RISULTATI: SCALA DI RAPPRESENTAZIONE DEL RILIEVO

Per completare l'analisi delle variabili che intervengono nella progettazione di un rilievo è necessario valutare anche la scala di rappresentazione del rilievo medesimo: un rilievo è sempre funzione della scala ultima di rappresentazione, ed essa deve essere necessariamente stabilita a priori in base all'oggetto rilevato, alla densità delle informazioni che si intende rilevare ed alle molteplici esigenze successive, quali documentazione, analisi e progetto. I criteri secondo i quali si determina la scala di rappresentazione idonea esulano da questa trattazione e pertanto si rimanda a testi specifici sulla teoria e tecnica del rilievo architettonico.

Assumendo pertanto che sia nota la scala di rappresentazione del fotopiano, (ovvero la scala in cui questo verrà stampato su supporto cartaceo rispetto alle reali dimensioni dell'oggetto), sarà necessario verificare di avere una risoluzione adeguata a questa operazione: non dovrà comunque essere troppo bassa né converrà, (per ragioni pratiche), che sia troppo alta.

Il calcolo della risoluzione che il rilievo avrà in stampa è molto rapido: partendo dalla formula che fornisce la scala del fotogramma rispetto all'oggetto reale, (vedi paragrafo precedente), sarà sufficiente dividere detto valore per la scala di rappresentazione a cui si intende stampare il rilievo. In tal modo si avrà un coefficiente di scala che indica quante volte verrà ingrandita, (o ridotta - caso molto raro), la pellicola originaria in stampa.

$$coeff.scala = \frac{scala_fotogramma}{scala_stampa}$$

Si sottolinea che detto coefficiente di scala è approssimativo in quanto stimato sulle pellicole, (scatti fotografici), dove la scala del fotogramma è quasi sempre una scala media, (come precedentemente illustrato).
Dividendo la risoluzione di acquisizione della pellicola per il coefficiente così determinato avremo la risoluzione di stampa:

$$ris_stampa(dpi) = \frac{ris_acquisizione}{coeff.scala}$$

Per fornire un esempio numerico ci si riallaccia ai valori dei paragrafi precedenti, dove la scala del fotogramma risultava essere di 1:200 rispetto all'oggetto e la risoluzione di acquisizione della pellicola era di 1200 dpi. Ponendo di voler uscire in stampa con una scala del rilievo pari a 1:50, otteniamo un coefficiente di scala che vale 200/50=4. La risoluzione di stampa sarà dunque data da 1200/4=300dpi.

Lo scopo finale di queste considerazioni è quello di poter agire consapevolmente sulle variabili analizzate per poter giungere ad una risoluzione di stampa che sia idonea alla scala di rappresentazione voluta; naturalmente questa deve essere valutata anche in funzione della qualità di stampa che offre la stampante di cui si dispone.
In generale si tenga presente che le stampanti ed i plotter a getto di inchiostro non hanno miglioramenti qualitativi apprezzabili quando si supera i 200-250dpi. Miglioramenti considerevoli possono invece essere ottenuti impiegando appositi supporti di stampa, (carta ad alta risoluzione o carta fotografica).
Uscire in stampa con immagini che hanno risoluzioni esuberanti rispetto alla dimensione alla quale vengono stampate non comporta alcun problema di carattere qualitativo ma può rendere l'intero processo di realizzazione del fotopiano assai più lento a causa delle dimensioni delle immagini digitali.

La progettazione del rilievo per mezzo di fotopiani è il risultato di una mediazione delle variabili esposte e può essere condotta anche a ritroso, proprio partendo dalla scala di stampa desiderata per determinare la risoluzione di acquisizione della pellicola, (come già illustrato in paragrafi precedenti), o può essere la successiva mediazione di vari aspetti fino a giungere ad una configurazione che ottimizza esigenze e mezzi.

In ogni caso, prima di avviare un vasto lavoro di rilievo, è consigliabile realizzare una prova nella quale si compia l'intero processo descritto allo scopo di produrre una porzione di fotopiano alla scala prescelta, non tanto per controllare i calcoli eseguiti, che sono molto semplici, ma per verificare che l'attrezzatura a disposizione dia risultati soddisfacenti.

2.16 APPROFONDIMENTO: LA PRECISIONE DEL FOTOPIANO

La precisione in fotogrammetria digitale, ed in particolare nella realizzazione di un fotopiano, è funzione di vari elementi:

- strumentazione impiegata per l'acquisizione dei dati: camera metrica, pellicola, scanner, stampante e quant'altro;
- gestione delle variabili relative al processo di produzione del fotopiano, (come ampiamente esposto nel paragrafo precedente);
- precisione del rilievo topografico di appoggio;

Il rilievo fotogrammetrico consente misurazioni con precisioni di ordini di grandezza ampiamente sufficienti alle esigenze di documentazione architettonica; si tenga comunque presente che con un teodolite si raggiungono precisioni relative dell'ordine di 10E-06 mentre con il rilievo fotogrammetrico sono state ottenute precisioni dell'ordine di 10 E -05.
Nella normale pratica operativa i risultati della fotogrammetria sono metricamente di un ordine di grandezza inferiori qualitativamente rispetto a quelli caratteristici della topografia.

In ogni caso si tenga presente quanto segue:
L'elaborazione fotogrammetrica digitale eseguita al calcolatore non introduce nessuna alterazione sull'entità dei dati per cui non ha senso parlare di precisione dell'elaborazione ma solo di precisione degli strumenti di rilievo ed acquisizione.

2.17 BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA

Non vi è vasta bibliografia che tratti gli argomenti illustrati in maniera semplificata e mirata alle applicazioni architettoniche. Esistono tuttavia molti testi di approfondimento con impostazione scientifica e rigorosa che trattano ampiamente la disciplina della fotogrammetria.

- M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza
- G. Fangi - Univ. di Ancona - note di fotogrammetria - clua ed. Ancona
- M.Docci, D.Maestri - Manuale di rilevamento architettonico e urbano - Ed. Laterza
- U.Saccardi - Applicazioni della Geometria Descrittiva - LEF
- R.Corazzi - Geometria "Scienza del disegno" - vol. I e II - Maggioli editore
- Ezio Viti - "Appunti di Fotogrammetria" – Galileo Siscam

- F.Flamigni - "Fotogrammetria digitale" – Galileo Siscam
- AAVV - Lavori di fotogrammetria architettonica - Ed. Dei Roma
- V.De Simone - Il calcolo numerico e la proiettiva grafica e procedimenti di restituzione fotogrammetrica, Bari, Atti del Convegno "Fotogrammetria per il restauro e la storia", 1995

ARGOMENTI DI PROSSIMO SVILUPPO:

0. COMPUTER: LE BASI

0. GRAFICA NEI SISTEMI INFORMATICI

0. DATABASE: SISTEMI DI ARCHIVIAZIONE DATI

0. CAD: COMPUTER AIDED DRAWING

0. GEOREFERENZIAZIONE E DEM

0. GIS: GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

0. DIAGNOSTICA NON DISTRUTTIVA DIGITALE

0. 3D LASER SCAN E SISTEMI A LUCE BIANCA

0. IL SISTEMA IPERTESTUALE E L'HTML

0. RICERCA E PUBBLICAZIONE SU INTERNET

0. GESTIONE DEL LAVORO AL COMPUTER